



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Автоматизация производственных процессов»

**Учебное пособие**  
по дисциплине  
«Художественное материаловедение»  
**«Раздел 3,4.Инженерное  
художественное  
материаловедение»**

Автор

Никифоров Б.Т.

Ростов-на-Дону, 2015

## Аннотация

Широко представлены образцы художественных и ювелирных изделий, уникальные изделия из различного металла, шедевры ювелирного искусства и технологии их изготовления.

Издание предназначено для специалистов, работающих в области художественной обработки металлов, а также профессиональным и самодеятельным художникам декоративно-прикладного искусства, студентам и магистрантам, обучающимся в области художественной обработки материалов, эстетике и дизайна.

## Автор



К.Т.Н., доцент  
Никифоров Б.Т.



## Оглавление

### **Глава 12. ЛЕГКОПЛАВКИЕ ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ МЕТАЛЛЫ ..4**

12.1. Цинковые сплавы .....	4
12.2. Свинец .....	6
12.3. Висмут .....	9
12.4. Олово .....	10
12.5. Ртуть .....	13

### **Глава 13. БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ И ИХ ЗАМЕНТЕЛИ ..15**

13.1. благородные металлы .....	15
13.2. Из истории изготовления ювелирных изделий. ....	27
13.3. Имитаторы и заменители благородных металлов для ювелирных изделий .....	29

### **Глава 14. ПРИПОИ .....39**

14.1. Пайка мягкими припоями. ....	41
14.2. Пайка твердыми припоями. ....	44
14.3. Золотые припои .....	49
14.4. Флюсы применяемые для пайки. ....	53
14.5. Способы пайки. ....	57

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....59**

### **Библиографический список .....60**

## ГЛАВА 12. 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.

### 12.1. 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 [51].

Известны, например, великолепные художественные изделия нюнбергских мастеров начала XVI века.

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 распространенными

цинковыми сплавами является сплавы тройной системы Zn-Al-Cu марки ЦАМ4-1, ЦАМ10-5 с  $\sigma_{\text{в}}=300$  МПа.



Рисунок 166. Втулки из сплава ЦАМ10-5

Недостатки цинковых сплавов:

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

Заметка о «шпиатре». ШПИАТР, ШПЕАТ (польск. szpeat — «смесь») — обобщенное название сплавов различных цветных металлов: меди, цинка, никеля, олова; иногда — цинк с добавлением свинца и железа. Точного рецепта сплава нет. Самое распространенное понятие значения слова «Шпиатр» — это цинк и различные цинковые сплавы, применявшиеся в художественной промышленности XIX-первой трети XX века в качестве заменителей бронзы. Так же использовался в качестве заменителя сплавов серебра. Главное отличие сплава шпиатра от бронзы — наличие в сплаве таких металлов, как цинк и никель. Благородный медный сплав бронзы настолько хорошо имитировался сплавом шпиатра, что даже знатоку трудно было отличить его от настоящей бронзы, что позволяло людям среднего достатка приобретать предметы изящного искусства. Традиция немного пренебрежительного отношения к изделиям из цинка, или шпиатра, возникла уже на рубеже XIX—XX веков, когда множество разнообразных интерьерных предметов появилось на художественном рынке Европы и России, рис 167



Рисунок 167. Художественная работа - шпиатр, гранит, на камне неразборчивая подпись, Викторианский период XIX век. Высота 60 см. У одного воина в руке утерян клинок меча, остальные элементы хорошо сохранились (1). Фрагменты(2)

## 12.2. 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. Среди скульптур Версаля есть великолепная анималистическая работа, изготовленная Тюби. Это скульптурная группа свинцового литья: шестерка лошадей, которой правит Аполлон на своей солнечной колеснице, стремительно вылетающей из вод бассейна, рис. 168.



Рисунок 168. Скульптурная группа свинцового литья: шестерка лошадей, которой правит Аполлон. Тюби. Версаль, Франция

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. 169.



Рисунок 169. Фонтан «Самсон, раздирающий пасть льва». Первоначальная свинцовая группа «Самсона» (1735г.) была заменена в 1802г. 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 1947г. Петергоф

Главная группа фонтанов Петродворца – так называемый Большой каскад – была осуществлена в 1717-1728 гг. В 1799-1806 гг. 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 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. 170.

В нишах Петропавловской крепости сохранились две статуи Марса и Венеры, также отлитые из свинца.

В XX в. 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.





Рисунок 170. Большой каскад. Петродворец. Санкт-Петербург

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 легкоплавких сплавов, идущих на неотчетливое декоративное литье, а также мягких оловянно-свинцовых припоев для пайки стальных и медных художественных изделий. В небольших количествах свинец входит в состав бронз и латуней.

### 12.3. Висмут

мало распространенный в природе элемент, блестящий, розовато-белый, хрупкий и очень тяжелый металл ( $\rho=9,75-9,8 \text{ г/см}^3$ ). 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, вискитовые 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.

## 12.4. Олово

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

Олово имеет две модификации: белое металлическое  $\beta$ -олово с тетрагональной решеткой Т, при  $+ 13,2^{\circ}\text{C}$  превращается в серое неметаллическое  $\alpha$ -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  $30^{\circ}\text{C}$ . 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.



1



2

Рисунок 171. Кружка оловянная. XVIII век. Тюрингия (1). Оловянное блюдо. 1698 год, (2)

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, рис. 171, 172. 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 [51]. Ажурное оловянное литье применялось в качестве декора иконостасов, дверей, подвесных и выносных фонарей, рис. 173.



Рисунок 172. Чернильный прибор и стаканы выполнены из олова .



Рисунок 173. Примеры оловянного литья  
В настоящее время вновь проявляется интерес к оловянной посуде и олово начинают причислять к полублагородным металлам, рис. 174.



Рисунок 174. Комплект кубков для вина в подарочном футляре, изготовленном из ценных пород дерева. Ирландия.

В наше время сочетание новых решений в дизайне и технологии и старинных традиций, строгий контроль качества и высокое мастерство работников дают возможность получить настоящее произведение прикладного искусства.

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

Из олова получают двусернистое олово  $\text{SnS}_2$ . Это соединение может быть получено нагреванием оловянных опилок с серой S и хлоридом аммония (нашатырем)  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . 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.

## 12.5. 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. 175 показан шпиль Петропавловского собора в Петропавловской крепости, который неоднократно подвергался горячему золочению.

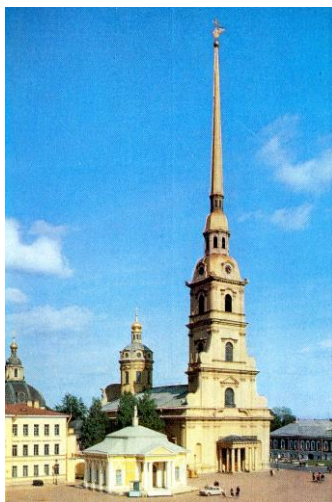


Рисунок 175. Петропавловский собор (1712-1733) в Петропавловской крепости, Санкт-Петербург. Общая высота колокольни и шпиля собора 122,5 м

## ГЛАВА 13. БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ И ИХ ЗАМЕНТЕЛИ

### 13.1. Благородные металлы

Основными признаками благородных металлов являются их высокая коррозионная стойкость в обычных и агрессивных средах, высокая пластичность и электропроводность, прекрасные эстетические свойства.

К благородным металлам относятся золото (Au), серебро (Ag), платина (Pt) и металлы платиновой группы: палладий (Pd), осмий (Os), родий (Rh), рутений (Ru) и иридий (Ir).

Для обозначения марок благородных металлов приняты следующие буквенные обозначения: Зл – золото, Ср – серебро, Пл – платина, Рд – родий, И – иридий, Пд – палладий, М – медь, Н – никель, Ц – цинк, Кд – кадмий, Ост. – остальное.

Наименование марок благородных сплавов состоит из букв, обозначающих компоненты сплава, и следующих за ним цифр. Цифры, стоящие после буквы, указывают номинальное содержание компонента сплава в тысячных долях (пробах), если компонент – благородный металл, и в процентах, если компонент – неблагородный металл. Например: ЗлСрНЦМ 585-80-8,2-2,5 означает, что это золотой сплав 585 пробы содержит 58,5-59,0% Au; 7, 5-8,0%Ag; 7,7-8,7%Ni; 2,2-2,8Zn; ост.- Cu (последний компонент не регламентируется).

Проба – минимальное содержание определенного благородного металла, измеренное в долях на тысячу единиц массы сплава [36].

В Российской Федерации для ювелирных и других бытовых изделий из драгоценных металлов установлены следующие пробы:

Платиновая	950 (девятьсот пятидесятая)
Платиновая	900 (девятисотая)
Платиновая	850 (восемьсот пятидесятая)



Золотая	999 (девятьсот девяносто девятая)
Золотая	958 (девятьсот пятьдесят восьмая)
Золотая	750 (семьсот пятидесятая)
Золотая	585 (пятьсот восемьдесят пятая)
Золотая	500 (пятисотая)
Золотая	375 (триста семьдесят пятая)
Серебряная	999 (девятьсот девяносто девятая)
Серебряная	960 (девятьсот шестидесятая)
Серебряная	925 (девятьсот двадцать пятая)
Серебряная	875 (восемьсот семьдесят пятая)
Серебряная	830 (восемьсот тридцатая)
Серебряная	800 (восемисотая)
Палладиевая	850 (восемьсот пятидесятая)
Палладиевая	500 (пятисотая)

Допускается изготовление изделий из золота 583-й пробы по заказам граждан из принадлежащих им ювелирных и других бытовых изделий из золота этой пробы.

### 13.1.1. Золото

встречается в природе почти исключительно в самородном состоянии, главным образом в виде мелких зерен, вкрапленных в кварц или содержащихся в кварцевом песке, рис. 176.



Рисунок 176. Самородки золота

Крупнейшими самородками, найденными в Австралии в 1869 и в 1872 гг. были «желанный незнакомец» массой 71 кг и «Плита Холтермана» массой 285 кг (из них на долю золота



приходилось 100 кг). В России на реке Миасс в 1642 г. был найден самородок массой 36 кг. В небольших количествах золото встречается в сульфидных рудах железа, меди, свинца.

Золото – ярко-желтый, красивый, тяжелый металл с плотностью  $19,32 \text{ г/см}^3$  и температурой плавления  $1063^\circ\text{C}$ . Механические свойства золота:  $\sigma_{\text{в}}=120 \text{ МПа}$  и  $\delta=50\%$ . Золото очень ковкий и пластичный металл: путем прокатки из него можно получить листочки толщиной  $0,0001 \text{ мм}$ , а из  $1 \text{ г}$  протянуть проволоку длиной  $3,5 \text{ км}$ . Из-за мягкости золото в чистом виде применяется редко и находится в сплавах с серебром или медью. В качестве компонентов золотых сплавов могут использоваться как благородные металлы (серебро, платина, палладий), так и неблагородные: медь, цинк, никель, кадмий и др.

В химическом отношении золото – малоактивный металл. На воздухе оно не изменяется даже при сильном нагревании. Кислоты в отдельности не действуют на золото, но в смеси соляной и азотной кислоты (в царской водке оно) легко растворяется. Кроме царской водки золото хорошо растворяется в хлорной воде, а также в аэрируемых (продуваемых) растворах цианидов щелочных металлов. Ртуть, как отмечалось выше, образует с золотом амальгаму, которая при содержании более  $15\% \text{ Au}$  становится твердой.

*Рекомендации по применению золотых сплавов.* Сплавы марок 375-й пробы. Назначение: ювелирные изделия, как правило, для личного украшения: кольца, серьги, кулоны, броши, цепочки и т.д. Сплав ЗлСрПдМ 375-10-38 преимущественно используется для изготовления ритуально-обрядовых изделий в виде обручальных колец, крестиков и т.д. Изделия из сплавов 375-й пробы относятся к наиболее дешевым по ценам. По технологичности пригодны для всех видов холодной обработки и литья, за исключением сплава ЗлСрПдМ 375-100-38, который имеет плохие литейные свойства и склонен к красноломкости при пайке.

Золотые сплава 585-й пробы с серебром и медью предназначены для ювелирных изделий: кольца с художественной обработкой и перстни, серьги и медальоны, кулоны и цепочки, булавки, пряжки, браслеты, зажимы и запонки, корпуса часов и т.п., а также для ритуально-обрядовых изделий. Золотые сплавы 585-й пробы наиболее популярны в России. Они пригодны для всех видов холодной обработки и литья; наилучшая обрабатываемость сплава – в мелкозернистом состоянии,

полученном путем термообработки предварительно деформированного сплава. Обработку резанием, в т.ч. алмазную, рекомендуется проводить в упрочненном состоянии, повышающем твердость на 30-50%. Наилучшие литейные свойства имеют сплавы с соотношением  $Ag/Cu=1:1$ . Цветовые области тройных сплавов  $ZlCrM$  включают цвета от красного до желто-зеленого.

Золотые сплавы 585-й пробы с платиной, палладием и никелем – белое золото – предназначены для изделий личного украшения: кольца и перстни, серьги и медальоны, кулоны и цепочки и т.п.; сувениры: памятные медали, значки и т.п.; принадлежности для курения: портсигары, сигаретницы, мундштуки (рис. 177). Эти сплавы пригодны для литья и холодной обработки, в том числе для отливки кастов под закрепку драгоценных камней. Пластичны в отожженном состоянии. Не подвержены горячему растрескиванию в процессе отжига или пайки. Кадмий и цинк снижают температуру плавления и повышают литейные свойства.

Из письма вдовствующей императрицы Марии Федоровны своей сестре, английской королеве Александре: «Он (Николай II) написал мне очаровательное письмо и подарил прекрасное Пасхальное яйцо. Фаберже сам пришел и преподнес мне его. Это настоящий *chef d'oeuvre* из розовой эмали. Внутри два негра несут портшез с императрицей Екатериной, у которой на голове корона. Яйцо заводится, и тогда негры начинают двигаться: необыкновенно прекрасная и великолепно сделанная вещь. Фаберже – величайший гений нашего времени. Я сказала ему: «*Vous êtes un génie incomparable*» (« Вы несравненный гений» – фр.).



1



2

Рисунок 176. Пасхальное яйцо розовой эмали. Четырехцветное золото, эмаль, бриллианты. Фирма Фаберже (1). Рамка в виде каминного экрана. Цветное золото, эмаль, жемчуг. Фирма Фаберже, мастер Генрик Вигстрем, Санкт-Петербург, 1908-1917 гг., проба 72. В рамке – фотография Александры Федоровны последних лет жизни

Золотые сплавы 750-й пробы с серебром и медью предназначены для ювелирных изделий: кольца и персти, серьги и медальоны, кулоны и цепочки. Булавки, пряжки и т.п.; сувениры: памятные медали, значки и т.п. Сплав ЗлСрМ 750-150 (с зеленоватым цветом) предназначен для ювелирных изделий с изумрудами. Золотые сплавы 750-й пробы популярны за границей. Эти сплавы поддаются всем видам холодной обработки. Для обработки резанием, в т.ч. алмазной обработки, предпочтительно использовать нагартованное или упрочненное состояние. Низкотемпературный отжиг приводит к значительному росту твердости при одновременном снижении пластичности. Сплавы хорошо паяются и рекомендуются для изготовления изделий с покрытием эмалью. Цвет сплава изменяется в зависимости от содержания легирующих компонентов от зеленого (Зл – Ср) через желтый до розового и красного (Зл – М).

Золотые сплавы 750-й пробы с платиной, палладием и никелем – белое золото – предназначены, как правило, для ювелирных изделий с бриллиантами, изумрудами и другими драгоценными камнями. Эти сплавы имеют более повышенную, до

950-1300°C, температуру плавления по сравнению с желто-красными сплавами. Они пригодны для прокатки, волочения, листовой штамповки и литья по выплавляемым моделям.

Золотой сплав 958-й пробы предназначен, как правило, для обручальных колец, имеет высокую химическую стойкость, но низкие механические свойства, вследствие чего теряет полировку и имеет желтый матовый цвет.

### 13.1.2. Серебро

в природе встречается как в самородном состоянии (известны самородки до 8 т), так и в виде серебряной руды, важнейшей из которых является серебряный блеск, или аргентит  $\text{Ag}_2\text{S}$ . В качестве примеси серебро присутствует во всех медных и свинцовых рудах, из которых получают около 80% всего добываемого серебра.

Серебро - тяжелый, тягучий металл белого цвета, его плотность  $\rho=10,35\text{г/см}^3$ ; температура плавления серебра 960,5°C. Механические свойства серебра в отожженном состоянии:  $\sigma_{\text{в}}=160\text{ МПа}$ ,  $\delta=50\%$ . Чистое серебро практически не изменяется под действием кислорода воздуха при нормальных условиях, но активно взаимодействует с сероводородом, находящимся в воздухе, с образованием на поверхности темных сульфидов  $\text{Ag}_2\text{S}$ . Серебро устойчиво в воде, но растворяется в азотной и горячей серной кислотах, а также реагирует с щелочными растворами цианидов. Оно имеет самую высокую отражательную способность и обладает самой высокой тепло- и электропроводностью.

Серебряные сплавы (СрМ 800-СрМ 960) используются для изготовления предметов сервировки стола: ложки и вилки, блюда, лопатки, рюмки и т.п.; для ритуально-обрядовых изделий в виде обручальных колец, крестиков и т.п.; для личного украшения: кольца и перстни, серьги и медальоны, кулоны и цепочки, булавки, пряжки и т.п.; для изготовления сувениров: памятные медали, значки и т.п.; для принадлежностей для курения: портсигары, сигаретницы, мундштуки. Они пригодны для всех видов литья и холодной обработки: сплавы СрМ 925 и СрМ 960 рекомендуются для изготовления филигранных украшений, для нанесения черни и эмали; сплав СрМ 875, обладающий повышенной прочностью, широко используется для изготовления личных украшений; из сплава СрМ 830, имеющего самую низкую

## Инженерное художественное материаловедение

температуру плавления ( $779-830^{\circ}\text{C}$ ), изготавливают декоративные поделки. С увеличением содержания меди сплав становится желтоватым.

В декоративно-прикладном и ювелирном производстве наиболее привлекательным материалом были серебряные сплавы, рис. 177-179.



Рисунок 177. Скульптура «Дмитрий Донской», серебро. И. Сазиков, 1851 г. (1). Часы «XXV годовщина свадьбы Александра III и Марии Федоровны». Серебро, оникс, бриллианты. Фирма Фаберже, мастер Михаил Перхин. Санкт-Петербург, до 1896 г.



Рисунок 178. Подарочная шкатулка от Уланского Лейб-гвардии полка. Золоченое серебро. Фирма Фаберже, мастер Ю. Раппопорт. С.-Петербург, 1899-1908 гг. (1). «Свадебный подарок». Серебро, кварцы. Фирма Фаберже, мастер А. Армфельт. Санкт-

Петербург, 1908-1917 гг.



Рисунок 179. Ожерелье в стиле Г. Йенсена. Серебро.  
Б.Т.Никифоров, Ростов-на-Дону, 2002 г. [36]

Монументальные серебряные часы (см. рис. 175-2) на основании из оникса с изогнутыми фасадом. Корпус покоится на четырех лапах, основание опоясано лентой с чеканкой из листьев. На фасаде – 25 накладных пути, играющих на музыкальных инструментах, в их руках большой барабан, трубы, горны, луки, колчаны, факелы, венки, вазы. Романовский грифон, помещенный у основания, держит короткий меч и два щита с гербами – Российской и Датской королевских семей, по бокам два рога изобилия. Часы увенчаны двуглавым орлом с короной над венком.

В центре на лицевой стороне шкатулки (см.рис. 178-1) – чеканная плакетка с изображением атаки егерей и подпись «Гроховское сражение». По сторонам плакетки – даты «13 Фев.» и «1831»; на противоположной стороне – надпись: «Державному Шефу Уланы Его Величества». По бокам от нее даны даты «1651» и «1903». На крышке помещена скульптурная фигура полкового офицера на коне.

**13.1.3. Платина** в природе встречается в россыпях в виде крупинок, всегда содержащих примеси других платиновых металлов, рис.180.



Рис.180. Самородки платины

Платина – серовато-белый блестящий металл, тяжелый и тугоплавкий; может прокатываться в тонкие листы до 0,0025 мм и протягиваться в тончайшую проволоку до 0,001 мм. Плотность платины 21,45 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 1769°C.

В химическом отношении платина является наиболее устойчивым металлом. Она не окисляется на воздухе даже при накаливании и, остывая, сохраняет свой цвет. Устойчива к влажной среде. Минеральные кислоты на нее не действуют, растворяется в горячей царской водке, при взаимодействии с которой образуется платинохлористоводородная кислота  $H_2(PtCl_2)$ . Платина хорошо полируется и обладает хорошей отражательной способностью. В чистом виде она очень мягка, поэтому ее легируют для повышения твердости.

Высокопробный платиновый сплав считается классическим ювелирным материалом; пластичность, прочность, износостойкость, игра цвета – эти качества платины всегда привлекали ювелиров. Очень тонкая платиновая проволока используется для изготовления филигранных украшений, тонких цепочек, изящных оправ для колец.

Платина нарядна и эффективна в сочетании с драгоценными камнями, особенно с бриллиантами. Из платины изготовляют тонкие ленточные браслеты, а также подвески-пластинки, отличающиеся особой элегантностью и легкостью; она также используется для изделий личного украшения: кольца и перстни, серьги, медальоны, кулоны, булавки, пряжки и т.п., рис.181, 182.



Рисунок 181. Усыпанный бриллиантами платиновый браслет работы Картье



Платиновые сплавы пригодны для всех видов литья и холодной обработки.

Замечательная диадема «Русское поле», массой 600 г, основным элементом декора которой составляют колосья пшеницы, выполнена из золота, платины, бриллиантов. Главное украшение – крупный желтый бриллиант (32,52 карата) помещен в центре композиции, рис. 182.



Рисунок 182. Овальная бриллиантовая брошь-кулон с жемчужиной. Платина, золото, бриллианты, жемчужина. Фирма Фаберже, (1). Диадема советской эпохи «Русское поле», (2)

Из металлов платиновой группы остановимся только на палладии и родии. Остальные металлы платиновой группы, а именно: осмий, рутений и иридий, в настоящее время в ювелирном деле самостоятельной роли пока не играют.

**13.1.4. Палладий** – металл серебристо-белого цвета, пластичный, легко прокатывается в фольгу и протягивается в тонкую проволоку. По цвету темнее серебра, но светлее платины. Плотность палладия  $\rho = 12,02 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1552^\circ\text{C}$ . По своим физическим и химическим свойствам значительно уступает платине: легко растворяется в царской водке и азотной кислоте. В ювелирной промышленности используется как компонент белого золота и для составления ювелирных палладиевых сплавов.

Из палладиевых сплавов изготавливаются ювелирные изделия для личного украшения: кольца и перстни, серьги и медальоны, кулоны и цепочки, булавки, пряжки и т.п., рис. 183.



Они пригодны для всех видов холодной обработки давлением и резанием, имеют высокие *механические свойства, обладают интенсивным белым цветом*. Сравнительные свойства палладия, платины, золота и серебра приведены в табл. 65.

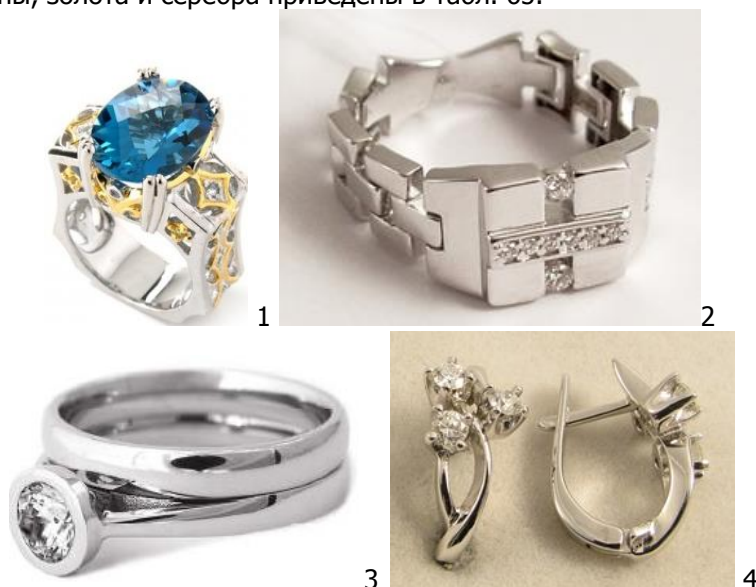


Рисунок 183. Ювелирные украшения из палладия со вставками: 1 – 3 перстни, 4 – серьги

Таблица 65  
Сравнительные свойства палладия, платины, золота и серебра

	Палладий	Платина	Золото	Серебро
Удельный вес/плотность г/см <sup>3</sup>	Чистый – 12,0 950 – 11,5	Чистая – 21,4 950 – 20,7	Чистое – 19,3 18 карат – 16,1 14 карат – 14,6 9 карат – 12,6	Чистое – 10,5 925 – 10,3
Твердость типового сплава	110 - 135	110-135	105-125	60-75
Температура плавления	1350-1600	1710-1780	880-1175	805-890
Металлы, обычно используемые в сплавах.	Рутений Медь Серебро Галлий	Рутений Кобальт Медь Серебро	Серебро Медь Цинк Палладий Никель	Медь
Реакция с Йодом	Чернеет	Не меняет цвет	Белое золото становится коричневым	Желтеет

### 13.1.5. Родий

не вошел в стандарт как ювелирный металл. Это голубовато-белый металл, напоминающий алюминий, твердый и хрупкий. Имеет высокую отражательную способность. Химически стойкий.



Рисунок 184. Родий - серебристо-белый твёрдый металл.

Применяется в ювелирном производстве как декоративное и защитное покрытие. Используются гальванические электролиты родирования (преимущественно сульфатные, сульфаматные и фосфатные) для получения износостойких и коррозионно-устойчивых покрытий. Холодный белый блеск родия хорошо сочетается с бриллиантами, фианитами и др. вставками. Так же родий добавляют в качестве легирующей, укрепляющей добавки в платину и палладий. Нанесение на ювелирное изделие родиевого покрытия уменьшает износ и увеличивает твёрдость изделия, защищая от царапин, и придаёт яркий блеск. Изделия из недорогих металлов и серебра, покрытые родием, обладают высокой износостойкостью и отражательной способностью.

### 13.2. Из истории изготовления ювелирных изделий.

История изготовления ювелирных изделий говорит о том, что в разные эпохи ювелиры по-разному относились к природным камням. В классический период развития Греции (с 475 г. до н.э.) камни редко украшали изделия из металла, в эпоху эллинизма (323-27 гг. до н.э.) для этой цели стали широко применять сердолик, гранаты, изумруды и аметисты наряду с фаянсом и эмалью, рис. 185, 186.



Рисунок 185. Ожерелье классического (слева) и эллинистического (справа) периодов



Рисунок 186. Ожерелье эпохи эллинизма

Кроме этого нововведения широкое развитие – особенно при изготовлении серег – получили филигрань и зернь.

В Средние века камни воспринимались как цветные пятна. В них ценили не яркий блеск, которого в то время не могла дать их неровная поверхность, не высокие качества и чистоту, а главным

образом цвет. Не придавалось значения ни тому, что камни часто обладали естественными пороками, снижавшими их материальную ценность, ни тому, что они были неправильной формы, неравны, содержали большое количество включений, ни трещинам, ни переменной или бледной окраске. Основное значение имел цвет камня, нужный для украшения того или иного предмета. Камень любили, им любовались, рис. 187.



Рисунок 187. Пара серег VI в. византийской работы, украшена яркими самоцветами: сердоликом, лазуритом и гранатами, а также золотым филигранным узором

Во второй половине XVIII в. широкое распространение получают *алмазы*, после огранки их называют бриллиантами. С XIX в. и до настоящего времени роль драгоценных камней измеряется их денежной стоимостью, их размером, чистотой, игрой сложно ограненной поверхности, рис. 188.



Рисунок 188. Ожерелье из платины с бриллиантами

Роль оправы камня сводится к тому, чтобы усилить его блеск и цвет, оправка также может испортить впечатление, если неправильно взята ее форма и выбран неподходящий по цвету металл.

### 13.3. Имитаторы и заменители благородных металлов для ювелирных изделий

#### 13.3.1.

На основе **меди** разработано большое количество различных сплавов, имитирующих благородные металлы [14]:

*Алюминиевая бронза* – сплав из 90 частей меди и 10 частей алюминия. Золотисто-желтый, ковкий, поддающийся отливке металл. Английское торговое название – *ауфир (аурал, ауфор)*.

*Американское накладное золото* – очень тонко позолоченный основной металл, часто томпак.

*Батбронза (Bathbronze)* – бронза с 6 процентами олова, используется для литья мелких художественно-промышленных изделий. Сплав, пригодный для позолоты.

*Батметалл (Batmetall)* – сплав, легированный цинком (около 45 процентов), в Англии предпочитают для изготовления столовой посуды.

*Бельгика (Belgica)* – сплав с подделанным под платину цветом; составлен, как правило, из 74,5 процента железа, 16,6 процента хрома и 8,9 процента никеля.

*Хризокальк*, или золотая бронза (*Chrysokalk*) – мягкий, золотого цвета сплав меди (называется также золоченая бронза) для художественных работ и украшений, которые часто золотили. Его составы различны. Наиболее тонкий – французский хризокальк для медалей, монет и т. п. – содержит 95-98 процентов меди и 2-5 процентов цинка. Другие сплавы: 90,5 процента меди, 6,5 процента олова и 3 процента цинка или 90,5 процента меди, 8 процентов цинка и 1,5 процента свинца.

*Накладное золото* – золоченый материал, основу которого образует сплав меди с золотым покрытием по меньшей мере 8 микрон.

*Дюраметалл (Durametall)* – немецкое название сплава меди, цинка и алюминия, имеющего золотисто-бронзовую окраску.

*Золото «Musiv»* – пластинки сульфидного олова  $\text{SnS}_2$  с

золотым блеском, применяются как золотая бронза для некоторых видов золочения. Преимущество сплава в том, что он не разъедается ни серой, ни сероводородом и не чернеет (как металлический бронзовый порошок).

*Орайде (Oreide)* – французское золото, сплав золотого цвета для литья художественно- промышленных изделий. Составы сплава различные, например, 80 процентов меди, 15 процентов цинка, 5 процентов олова или 86,13 процента меди, 13 процентов цинка, 0,4 процента олова и 0,6 процента железа.

*Оротон (Oroton)* – торговое название похожего на томпак сплава.

*Пинчбек (Pinchbeek)* – английское золото, сплав меди и цинка с 83-93 процентами меди. Этот сплав был разработан лондонским часовщиком Христофором Пинчбеком (1670-1732).

*Голдин (Goldin)* – в торговом обращении применялось немецкое название для сплава меди и алюминия, который использовался для создания дешевых ювелирных изделий.

*Гамильтонметалл (Hamiltonmetall), хризорин* – сплав 66,7 процента меди и 33,3 процента цинка, окрашен в золотисто-желтый цвет, имеет мелкозернистую структуру и очень хорошо подходит для золочения изделий.

*Мангеймское золото* – сплав из 83,6 процента меди, 9,4 процента цинка и 7 процентов олова, окрашенный как золото. Изготовленные из этого сплава изделия, как правило, позолочены.

*«Мопель»-металл* – английское название для сплава из 67 процентов меди, 33 процентов цинка, железа и марганца, он пригоден для изготовления монет, медалей и пр. В США из этого сплава выпускают броши, браслеты, пряжки и пр.

*Мозаичное золото* – сплав из 66 процентов меди и 34 процентов цинка с оттенком самородного золота.

*Платинор* – сплав из 57 процентов меди, 18 процентов платины, 10 процентов серебра, 9 процентов никеля, 6 процентов цинка, отличается красивым золотым цветом и используется для изготовления ювелирных изделий.

*Платиновая бронза* – сплав никеля и олова с небольшим добавлением платины. Хорошо поддается полировке. Его блеск даже в неблагоприятной среде сохраняется относительно долго. Сплав с соединением 90 процентов никеля, 9 процентов олова и 1 процента платины используется для изготовления столовых приборов. Для изделий более высокого качества применяют

сплав из 81, 5 процентов никеля, 16 процентов олова, 0,8 процента платины, 1,7 процента серебра.

Сплав «*Splauter*» - сплав с большим содержанием олова, чаще из 90 процентов олова, 8 процентов свинца и 2 процентов меди. Используется для ювелирных украшений, как правило, позолоченных или покрытых медью (коричневой платиной).

*Штеллит (Stellite)* – сплав хрома и кобальта, похожий по цвету на платину.

### 13.3.2. Тантал и ниобий.

*Тантал (Ta)* [от имени героя греческой мифологии Тантала – лидийский или фригийский царь, обреченный богами на вечные муки (танталовы муки); стоя по горло в воде и видя спускающиеся с дерева плоды, Тантал не мог утолить жажду и голод, так как вода уходила от его губ, а ветвь с плодами отстранялась]. Та – светло-серый с синеватым оттенком металл, тяжелый и тугоплавкий. Плотность  $\rho=16,6 \text{ г/см}^3$ ;  $t_{пл}=2996^\circ\text{C}$ . Химически стоек. В ювелирном производстве используется вместо платины. Украшения из тантала начали применяться с 1977 г. Использование Та в ювелирном деле мотивируется его редкостью (стоимость тантала дороже серебра) и его способностью анодироваться (анодирование – электрохимическое оксидирование) при очень высоком напряжении, что дает возможность получить богатые интенсивные тона. Изделия из тантала получают методомковки, так как тантал не паяется и не поддается обычному отжигу и сварке, а полируется только при помощи смеси очень сильных кислот, рис. 189, 190, 191.

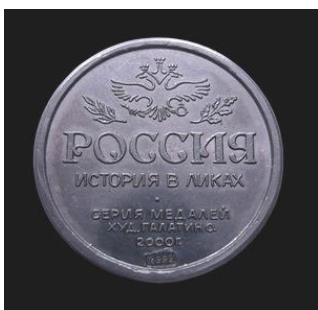


Рисунок 189. Montblanc в модели Sport Chronograph Tantalum Automatic. Танталовый корпус с не танталовым безелем из красного золота.





Рисунок 190. Персти. Тантал. Киров



1



2

Рисунок 191. Реверс медали из серии "История в ликах".  
Материал - тантал 99,99. Диаметр - 25,3 мм. 2004 г. Стилистика -  
глубокий рельеф (1). Екатерина Великая. Материал - тантал  
99,99. Диаметр - 25,3 мм. 2004 г.

Украшения из тантала - это, как правило, кольцо и ожерелья в виде лепестков, окрашенных в интенсивно зеленый или переливчато - синий цвета. Танталовые украшения создают ощущение тяжести, так как плотность тантала близка к плотности золота ( $\rho_{Ta}=16,6$ ;  $\rho_{Au}=19,32$ ).

*Ниобий* (Nb) – (назван в честь Ниобы –



дочери мифологического Тантала – (близость свойств Nb и та) – светло-серый тугоплавкий металл; химически очень стойкий; плотность  $\rho=8,57\text{г/см}^3$ ;  $t_{\text{пл}}=2500^\circ\text{C}$ . Украшения из ниобия появились на рынке вместе с танталовыми: кольцо, серьги, броши, булавки, кулоны, браслеты ярких радужных расцветок, в которых анодированный ниобий сочетается с хрусталем, серебром, золотом; особой популярностью пользуются серьги, браслеты и кольцо из ниобия, окрашенного в черный цвет, рис. 192.



1



2

Рисунок 192. Ювелирные изделия с ниобием (1). Корпус часов из ниобий-титанового сплава (2)

### 13.3.3. Сталь и чугун

В ювелирных украшениях. Распространенными и модными в XVIII в. украшениями были *стальные* броши с ограненными вставками из мягкой стали, приклепанными к корпусу самого изделия так, что казалось, будто оно усыпано бриллиантами или стразами.

Подобные вещи из граненой стали, сочетавшие в себе одновременно качества металла и камней, носили даже в высшем

обществе. Иногда их цена даже превышала стоимость подлинных драгоценностей. Первые изделия из граненой стали были сделаны в Лондоне в 60-е годы XVIII в., впоследствии они распространились по всей Европе. В России наибольшую популярность имели стальные ювелирные изделия тульских мастеров.

После 1769 г. богатых французов просили сдавать драгоценности в казну, а вместо них носить украшения из граненой стали. Мода на них сохранилась до конца XIX в. в таких изделиях, как броши, браслеты, тиары и ожерелья, гребни, женские сумочки, рамки и оправы, печати, пуговицы, кольца и заколки для волос.

Еще во времена Римской империи широко пользовались самыми разнообразными пряжками, но особую популярность они приобрели в XVIII в. Ведущий производитель металлических изделий Мэтью Бултон разработал несколько видов металлических пряжек из граненой стали со вставками из специальных фарфоровых дисков. Этот сорт твердого, бисквитного, так называемого «костяного» фарфора называется «веджвуд», по имени его создателя английского керамиста Джозайи Веджвуда, выпустившего первые изделия из него в 1764 г., рис. 193-1.



Рисунок 193. Камень из синего «веджвуда» вставлен в оправу из граненой стали, (1). Железная Корона, V в., (2)

Сталь для ювелирных изделий использовали с глубокой древности. Так, в сокровищнице базилики Св. Иоанна Крестителя в итальянском городе Монце хранится знаменитая Железная Корона, рис. 193-2.

Железная Корона – позднеантичная (ранневизантийская)

диадема, у которой внутренний железный обруч (ободок), скрепляющий шесть ее золотых пластин, изготовлен из гвоздя (одного из трех) распятия Иисуса Христа.

Великий ювелир Фаберже неоднократно использовал сталь для своих изделий. Таким было военное пасхальное яйцо 1916 г., а на рис. 194-1 показана замечательная стальная сигаретница с золотыми накладками, а на рис. 194-2 чугунная рамка из Касли.



Рисунок 194. Стальная сигаретница украшена золотыми рокальными накладками. Фирма Фаберже, мастер Михаил Перхин. Санкт-Петербург, посл. четв. XIX в., проба 56, (1). Рамка с фотографией. Нач. XX в. Россия. Касли, Чугун. Литье. Ростовский-на-Дону краеведческий музей (2)

В начале XIX в. чугун использовался для производства изящных ажурных, узорчатых ювелирных изделий. Первой фабрикой по их изготовлению стала Берлинская императорская фабрика, основанная в 1804 г. Первые ювелирные изделия – длинные цепочки с литыми звеньями – были произведены в 1806 году, рис. 195.

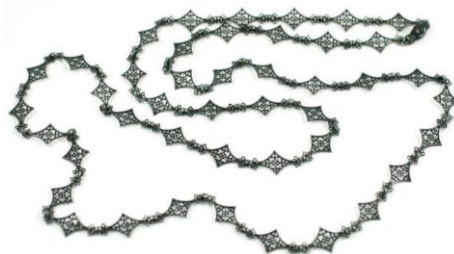


Рисунок 195. Литая чугунная цепочка

Производство ювелирных изделий из чугуна достигло своего пика между 1813 и 1815 годами, когда принцесса Марианна Прусская обратилась ко всем женщинам Пруссии, отдать свои золотые украшения для финансирования восстания против Наполеона во время Освободительной войны, в обмен на брошь из железа или кольцо с надписью "Я отдала золото за железо" (или с надписью «для благосостояния нашей Родины», или с портретом Фридриха-Вильгельма III Прусского на обороте). Именно на ней создана большая часть ювелирных украшений, произведенных в Берлине между 1813 и 1815 гг. В то время Германия остро нуждалась в золоте и серебре для ведения войн против наполеоновской Франции, в связи с чем была проведена кампания по сбору драгоценных металлов у населения. В обмен на изделия из драгоценных металлов государство предлагало простые железные украшения, призывая людей из патриотических побуждений расстаться с золотом и серебром. На лицевой стороне таких предметов делалась надпись «Gold gab ich für Eisen» («Я отдал золото за железо»), а на обороте изображался портрет Фридриха Вильгельма III Прусского. Производство чугунных брошей, ожерелий, браслетов, вееров, гребней и других подобных украшений продолжалось также до конца XIX в., рис. 196-199.



Рисунок 196. Железное обручальное кольцо с надписью «Я сдала золото за железо»



Рисунок 197. Медаль «Я отдал золото за железо» (1,2);  
Крест с портретом Фридриха Вильгельма III Прусского.



Рисунок 198. Чугунные медальонами, с подражением греческим классическим украшениям.



Рисунок 199. Чугунный браслет (A BERLIN IRON BRACLET, BY GEISS 1830.)

В России также имело место производство чугунных, удивительных по сложности и мастерству изготовления ювелирных изделий.

Стальные ювелирные изделия вновь входят в моду. Мода на стальные изделия изначально пошла из Англии во Францию, а потом дошла и до Российской Империи. Во времена правления Екатерины II главным изготовителем стальных украшений был тульский завод. Это был мир стальных цепочек, колец, колье, сережек и был заброшен в середине XIX-го века, и только в конце 90-х годов 20-го столетия в Италии ювелиры снова вспомнили об этом незаслуженно забытом металле. Ювелирная сталь с вольфрамовым или титановым напылением обеспечит вашему изделию стойкость к царапинам, извечную красоту и пожизненную гарантию.

Современная мода отличается абсолютной вольностью и индивидуальностью. Ювелирные украшения из стали со вкусом свободы и независимости вытесняют однообразные предсказуемые элегантные украшения из золота. К тому же, украшения из стали подходят не только женщинам, но и мужчинам, подчеркивая их индивидуальность, мужской стиль и безупречный вкус. Из стали делают все – серьги, кулоны, кольца, браслеты, цепочки, к тому же нередко стальные копии ювелирных брендов (причем, смотрятся они не хуже), рис. 200. Дизайнерской фантазии нет границ – с помощью стали ювелиры превращают в жизнь многие свои задумки, сочетая металл с каучуком, с деревом, покрывая его эмалью различных цветов,

## Инженерное художественное материаловедение

делая вставки из силикона, создавая необычайные композиции, формы, украшая всё это орнаментальной гравировкой.



Рисунок 200. Стальная подвеска (1) и браслет из стали и титана (2)

## ГЛАВА 14. ПРИПОИ

Сплавы, применяемые для пайки металлов, называют припоями [21, 46]. Припои должны обладать сравнительно невысокой температурой плавления и в расплавленном состоянии хорошо смачивать паяемый материал. Пайку осуществляют или с целью создания механически прочного (иногда герметичного) шва, или для получения электрического контакта с малым переходным сопротивлением. При пайке места соединения и припой нагревают. Так как припой имеет температуру



плавления значительно ниже, чем соединяемый металл (или металлы), то он плавится, в то время как основной металл остаётся твёрдым. На границе соприкосновения расплавленного припоя и твёрдого металла происходят различные физико-химические процессы. Припой смачивает металл, растекается по нему и заполняет зазоры между соединяемыми деталями. При этом компоненты припоя диффундируют в основной металл, основной металл растворяется в припое, в результате чего образуется промежуточная прослойка, которая после застывания соединяет детали в одно целое. Для удаления окислов и загрязнений с поверхности спаиваемого металла, защиты его от окисления и лучшего смачивания припоем служат химические вещества, называемые флюсами. Температура плавления флюсов ниже, чем температура плавления припоя. Различают две группы флюсов: 1) химически активные, растворяющие пленки окиси, а часто и сам металл (соляная кислота, бура, хлористый аммоний, хлористый цинк) и 2) химически пассивные, защищающие лишь спаиваемые поверхности от окисления (канифоль, воск, стеарин и т. п.).

По температуре расплавления припои (ГОСТ 19248-90 (ИСО 3677-76)) подразделяют на легкоплавкие (145—450°C), среднеплавкие (450—1100°C) и высокоплавкие (1100—1850°C). К легкоплавким относят оловянно-свинцовые (ПОС), оловянные, малосурьмянистые и сурьмянистые (ПОССу) и другие припои; медно-цинковые (латуни) относят к среднеплавким (905—985°C), а многокомпонентные на основе железа — к высокоплавким (1190—1480°C).

К припоям предъявляются следующие требования: высокая механическая прочность припоев в условиях нормальных, высоких и низких температур, хорошие электропроводность и теплопроводность, герметичность, стойкость против коррозии, жидкотекучесть при температуре пайки, хорошее смачивание основного металла, определенные для данного припоя температура плавления и величина температурного интервала кристаллизации. В зависимости от температуры плавления и прочности применяемых припоев различают пайку мягкими припоями (мягкую) и пайку твердыми припоями (твердую).

Припои бывают двух видов: мягкие и твёрдые. Мягкие оловянные припои имеют низкую температуру плавления (200-300°C) и обеспечивают лишь герметичность спая без высоких механических свойств ( $\sigma_{\text{в}}=50-70$  МПа).



### 14.1. Пайка мягкими припоями.

При пайке мягкими припоями используют припои с температурами плавления ниже  $400^{\circ}\text{C}$ , обеспечивающие получение паяных швов с пределами прочности до  $10 \text{ кГ/мм}^2$ . К мягким относятся следующие припои: оловянно-свинцовые, малооловянистые, легкоплавкие и специальные.

Припои оловянно-свинцовые (ПОС), имеющие температуру плавления  $= 183 \div 265^{\circ}\text{C}$ , представляют собой сплавы олова и свинца с добавкой 1,5-2,5% сурьмы.

Малооловянистые и безоловянистые мягкие припои: свинцовые ( $t_{\text{пл}} = 327^{\circ}\text{C}$ ), свинцово-серебряные (2,5% серебра,  $t_{\text{пл}} = 304^{\circ}\text{C}$ ) и др.

Легкоплавкие припои ( $t_{\text{пл}} = 60,5 \div 145^{\circ}\text{C}$ ) - сплавы олова, свинца, висмута и кадмия. Их применяют в случаях, когда требуется понижение температуры пайки из-за опасности перегрева деталей, а также для «ступенчатых» (вторых) паек. Механическая прочность припоев незначительна, причем висмутовые припои обладают большой хрупкостью.

Специальные припои используют для пайки материалов, не поддающихся качественной пайке стандартными припоями, причем чаще всего их используют для пайки алюминия. Для пайки алюминия и его сплавов применяют специальные припои на оловянной основе, которые содержат цинк, кадмий и иногда алюминий, а также чистое олово (содержание олова 99,92%), причем лучшими являются оловянно-цинковые, оловянно-кадмиевые и кадмиево-цинковые сплавы ( $t_{\text{пл}} = 197 \div 310^{\circ}\text{C}$ ), так как цинк и кадмий (особенно цинк) хорошо диффундируют в алюминии.

Мягкие припои являются композициями Sn, Pb, Bi, Cd и др. и подразделяются на:

- оловянно-свинцовые, обозначаемые ПОС90 – ПОС10 (ГОСТ 21930-76), где цифры указывают на содержание Sn в %, имеют следующие механические свойства:  $\sigma_{\text{в}}=280-590 \text{ МПа}$ ,  $\delta=24-54 \%$ , 10-15 НВ; применяются для пайки электро- и радиоаппаратуры, пайки радиаторов, пайки и лужения Fe, Cu, Cu – Zn и др. Плавление этих припоев начинается при температуре  $183^{\circ}\text{C}$  (температура эвтектики системы олово-свинец) и заканчивается при следующих температурах: ПОС15 -  $280^{\circ}\text{C}$ , ПОС25 -  $260^{\circ}\text{C}$ , ПОС33 -  $247^{\circ}\text{C}$ , ПОС40 -  $235^{\circ}\text{C}$ , ПОС90 -  $220^{\circ}\text{C}$ . Припои ПОС-61 и ПОС-63 плавятся при постоянной температуре

183°C, так как их состав практически совпадает с составом эвтектики олово-свинец, табл. 66.

Таблица 66

Состав и назначение оловянно-свинцовых припоев

Марка	Основные компоненты, % (свинец - остальное)		Температура плавления, °C		Назначение
	олово	другие элементы	солидус	ликвидус	
ПОС-90	90	—	183	220	Пайка и лужение пищевой посуды и медицинской аппаратуры
ПОС-61	60	—	183	190	Пайка и лужение электро- и радиоаппаратуры, печатных схем
ПОС-40	40	—	183	238	Пайка деталей из оцинкованного железа
ПОС-61М	60	Медь 2	183	192	Пайка тонкой медной проволоки и фольги
ПОССу-50-0,5	50	Сурьма до 0,5	183	216	Пайка авиационных радиаторов
ПОССу-30-0,5	30	То же	183	255	Пайка листового цинка, радиаторов
ПОССу-40-2	40	Сурьма 1,5...2,0	185	229	Пайка холодильных установок

ПОССу-18-2	18	То же	186	270	Пайка в автомобильной промышленности
ПОССу-4-6	4	Сурьма 5...6	244	270	Пайка и лужение в автомобильной промышленности
П250А	80	Цинк 20	200	280	Пайка деталей из алюминиевых сплавов

- оловянно-цинковые, обозначаются ПОЦ 90, ПОЦ 40, где цифры также указывают на содержание Sn в %; твёрдость данных припоев находится в пределах 17-20 НВ; применяются для пайки и лужения Cu, Al, Fe и их сплавов. Виды и назначение припоев: ПОЦ-10 для пайки алюминия и его сплавов; ПОЦ-40 для пайки алюминия и его сплавов; ПОЦ-60 для пайки алюминия и его сплавов; ПОЦ-70 для пайки алюминия и его сплавов. Для паяния и заделки дефектов изделий из алюминиевых и цинковых сплавов с успехом применяются припои на цинковой основе, наиболее простыми из которых являются сплавы цинка с оловом.

Диаграмма состояния системы олово — цинк показывает, что эти металлы практически нерастворимы друг в друге. Введение до 9% цинка в олово вызывает снижение температуры полного расплавления (линия ликвидуса). Сплав с 9% Zn, соответствующий эвтектической точке, плавится при наиболее низкой температуре, равной 199°C. Дальнейшее увеличение содержания цинка в сплаве повышает температуру полного расплавления. Температура начала плавления для всех цинково-оловянных сплавов одинакова и равна 199°C. Исследование механических свойств сплавов системы цинк — олово показывает, что наибольшую прочность и пластичность имеют сплавы, содержащие выше 30% Sn; сплавы с более низким содержанием олова отличаются повышенной хрупкостью.

Практически для пайки двойные сплавы цинка с оловом применяются редко; обычно для улучшения свойств цинковых припоев в них вводятся алюминий, медь, кадмий и другие

металлы. Сплав Zn с 2% Си применяется для пайки меди. Паяние этим припоем следует вести быстро и без большого перегрева шва, иначе вследствие растворения металла основы в припой сильно увеличится содержание меди, что приведет к повышению температуры его плавления и к ухудшению условий паяния. При паянии алюминия мягкими припоями большое значение имеет коррозионная стойкость пары алюминиевый сплав — припой. Наиболее надежными в этом отношении являются двойные сплавы цинка с алюминием и цинка с кадмием. Для лайки соединений, нуждающихся в высокой электропроводности, в указанные припои добавляют 0,5—1,5% Ag. Применяются также оловянно-марганцевые ПОМц- ПОМц-3 и оловянно-кремниевые ПОСК -ПОСК-50-18.

### 14.2. Пайка твердыми припоями.

При пайке твердыми припоями применяют припои с температурами плавления выше 400°C: медные ( $t_{пл} = 1083^\circ\text{C}$ ), медно-цинковые ( $t_{пл} = 845 \div 900^\circ\text{C}$ ), меднофосфористые ( $t_{пл} = 700 \div 830^\circ\text{C}$ ), серебряные ( $t_{пл} = 635 \div 870^\circ\text{C}$ ) и др.

Твердые припои подразделяются на тугоплавкие с температурой плавления выше 875° С и легкоплавкие с температурой плавления ниже 875° С. Чистая электролитическая медь (марки М1 и М2) применяется в основном при пайке сталей в печах с защитной средой.

*Медно-цинковые* припои мало распространены вследствие низких механических свойств. В качестве медно-цинковых припоев используются также латуни марок Л62 и Л68.

*Медно-фосфористые* припои применяются как заменители серебряных припоев и мягких припоев. Их можно использовать только для пайки медных и латунных деталей, не работающих на изгиб, вибрацию и удар. Пайка меди медно-фосфористыми припоями осуществляется без флюса; при пайке сплавов на основе меди флюс необходим. Медно-фосфористые припои нельзя применять для пайки черных металлов, так как они плохо смачивают эти металлы и в пограничных диффузионных слоях образуются хрупкие фосфиды железа.

Наиболее высокое качество получается при твердой пайке с серебряными припоями, которые можно применять для пайки черных и цветных металлов при условии, если температура плавления припоя ниже температуры плавления паемого

металла. При твердой пайке алюминия и его сплавов применяют припои на основе алюминия ( $t_{пл} = 525 \div 580^{\circ}\text{C}$ ).

Твёрдые припои являются композициями Cu и Sn, а также Ag и Cu, Zn, P, Cd, Sn, Pb, Mn, Ni:

- *медно-цинковые припои* обозначаются: ПМЦ 36, ПМЦ 48, ПМЦ 54 (ГОСТ 23137 – 78), а также латуни: ЛК62-05; ЛМц58-2; ЛОК62-0,6-0,4; ЛОК 59-1-0,3; Л63 и цифрой, показывающий содержание Cu. Температура плавления  $825-860^{\circ}\text{C}$ , предел прочности  $\sigma_b=220$  МПа. Применяются для пайки меди, латуней, бронзы и сталей;

Медно-цинковые припои (латуни) широко применяют для пайки большинства металлов (табл. 67). Для повышения прочности паяных соединений в медно-цинковые припои вводят олово, никель и марганец. Добавки олова понижают температуру плавления латуни, повышают коррозионную стойкость и улучшают жидкотекучесть припоя.

Таблица 67

Состав и назначение медно-цинковых припоев

Марка	Основные компоненты, % (цинк - остальное)		Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$		Назначение
	медь	другие элементы	солидус	ликвидус	
ПМЦ-36	36	—	800	825	Пайка латуней и бронз с содержанием не более 68% меди
ПМЦ-48	48	—	850	865	Пайка латуней и бронз с содержанием более 68 % меди
ПМЦ-54 Л63 Л68	54 63 68	— — —	876	880 905 938	Пайка стали, жести, медных сплавов

## Инженерное художественное материаловедение

ЛЖМц-57-1,5-0,75	57	Марганец, железо по 1	865	873	Пайка инструментов
ЛНМц-50-2	50	Никель, марганец по 2	849	872	
МцН-48-10	48	Никель 10	—	985	Пайка чугуна

- серебряные припои (ГОСТ 19738-74) относятся к системе Ag, Cu, Zn, обозначаются ПСр и цифрой, указывающей содержание Ag: Тпл=660 – 850оС. К группе серебряных припоев относятся припои системы Ag – Cu – Zn – Cd (ПСр50 Кд): Тпл=300-810оС, и припои система Ag – Cu – Р (ПСр 25 Ф, ПСр 15) с содержанием 4,5-5,5 % Р: Тпл=635-810оС, табл. 68, 69.

Таблица 68

Химический состав и температура плавления серебряных припоев

Марки припоя	Химический состав, %		Температура плавления, °С	
	Серебро	Остальное	Верхняя критическая точка	Нижняя критическая точка
ПСр 72	72,0±0,5	Cu	779	779
ПСр 71	71,0±0,5	Cu 1,0±0,2P	795	645
ПСр 70	70,0±0,5	Zn 26,0±0,5Cu	770	715
ПСрМО 68-27-5	68,0±0,5	Cu 5,0±0,5Sn	765	655
ПСр 65	65,0±0,5	Zn 20,0±0,5Cu	722	695
ПСр 62	62,0±0,5	Sn 28,0±1,0Cu	723	650
ПСр 50	50,0±0,5	Cu	860	779
ПСр 50Кд	50,0±0,5	Кд 16,0±1,0Zn 16,0±1,0Cu	640	625
ПСрКдМ 50-34-16	50,0±0,5	Cu 34,0±1,0Кд	615	615

ПСр 45	45,0±0,5	Zn 30,0±0,5Cu	685	630
ПСрМЦКд 45-15-16- 24	45,0±0,5	Cu 16,0±1,0Zn 24,0±1,0Кд	730	665
ПСр 40	40,0±0,1	Кд 16,7±0,7Cu 0,3±0,2Ni 17,0±0,8Zn	610	590
ПСр 37,5	37,5±0,5	Cu 5,5±0,5Zn 8,2±0,3Mn	810	725
ПСр 25	25,0±0,3	Zn 40,0±0,1Cu	775	740
ПСр 25Ф	25,0±0,5	Cu 5,0±0,5P	725	645
ПСр 15	15,0±0,5	Cu 4,8±0,3P	810	640
ПСр 12М	12,0±0,3	Zn 52,0±1,0Cu	830	793
ПСр 10	10,0±0,3	Zn 53,0±1,0Cu	850	822
ПСрО 10- 90	10,0±0,5	Sn	280	221
ПСрОСу 8 (8Пр-6)	8,0±0,5	Sn 7,5±0,5Sb	250	235
ПСрМО 5 (Впр-9)	5,0±0,5	Sn 2,0±0,5Cu 1,0±0,2Sb	240	215
ПСрОС 3,5-95	3,5±0,4	1,0±0,3Pb	224	220
ПСр 3	3,0±0,3	Pb	315	304

Таблица 69

Примерное назначение серебряных припоев ГОСТ 19738-74



Марки припоя	Примерное назначение
ПСр 72; ПСр 71; ПСр 62; ПСр50Кд; ПСр 50; ПСр 45; ПСр 37,5; ПСр 25; ПСр 15; ПСр 10; ПСр 2,5	Лужение и пайка меди, медных и медно-никелевых сплавов, никеля, кобальта, нейзильбера, латуней и бронз
ПСр 72	Пайка железно-никелевого сплава с посеребренными деталями из стали
ПСр 72; ПСр 62; ПСр 40; ПСр25; ПСр 12М	Пайка стали с медью, никелем, медными и медно-никелевыми сплавами
ПСр 72; ПСр 62	Пайка меди с никелированным вольфрамом
ПСрМО 68-27-5; ПСр 70; ПСр 50	Пайка титана и титановых сплавов с нержавеющей сталью
ПСр 37,5	Пайка меди и медных сплавов с жаропрочными сплавами и нержавеющей сталью
ПСр 40	Пайка меди и латуни с кобальтом, никелем, с нержавеющей сталью и жаропрочными сплавами, пайка свинцово-оловянистых бронз
ПСрО 10-90; ПСрОСу 8; ПСрМО 5; ПСрОС 3,5-95; ПСр 3-97; ПСрОС 3-58; ПСрОС 2-58; ПСр 2; ПСр 1,5	Пайка и лужение меди, никеля, медных и медно-никелевых сплавов с посеребренной керамикой, пайка посеребренных деталей
ПСр 3; ПСр 2; ПСр 1,5	Пайка меди и никеля со стекломалью и керамикой
ПСр 72; ПСр 70; ПСр 65; ПСр 45; ПСр 25; ПСр 15; ПСр 2	Пайка и лужение ювелирных изделий

ПСр 71; ПСр 25Ф; ПСр 15	Самофлюсующиеся припои для пайки меди с бронзой, меди с медью, бронзы с бронзой
ПСр 3Кд	Пайка меди, медных сплавов и сталей по свеженанесенному медному гальваническому покрытию не менее 10 мкм
ПСрМО 68-27-5; ПСрКдМ 50-34-16; ПСрМЦКд 45-15-16-24; ПСр 3; ПСр 2,5	Пайка и лужение цветных металлов и сталей
ПСр 1	Пайка и лужение серебряных деталей

Серебряные припои обладают большой прочностью, спаянные ими швы хорошо изгибаются и легко обрабатываются. Припои ПСР-10 и ПСР-12 применяются для пайки латуни, содержащей не менее 58% меди, припои ПСР-25 и ПСР-45 — для пайки меди, бронзы и латуни, припой ПСР-70 с наиболее высоким содержанием серебра — для пайки волноводов, объемных контуров и т. п.

К ним не предъявляют таких жестких требований, как к золотым припоям, они не должны обязательно соответствовать пробе изделия. Эти припои характеризуются хорошей пластичностью, прочностью и антикоррозийностью. Температура плавления у них колеблется от 650 до 850°С. На практике - самыми "ходовыми" являются припои ПСр72 и ПСр 70.

### 14.3. Золотые припои

используются для пайки золотых и платиновых изделий. Они характеризуются высокой коррозионной стойкостью. Проба припоя должна соответствовать пробе изделия, при этом для каждой пробы существует несколько различных по цвету и температуре плавления припоев. Цвет припоев зависит от соотношения в них меди, серебра, цинка, кадмия. Преобладание серебра понижает температуру плавления, повышает текучесть и пластичность и ослабляет цвет. Медь повышает прочность припоя и придает ему красноватый оттенок. Прибавка цинка делает припой зеленоватого оттенка, а кадмий не меняет цвет припоя. На практике цвет золотых припоев делится на белый и желтый. Первый используется при пайке изделий из платины и белого золота, второй - для изделий из желтого золота. В зависимости

# Инженерное художественное материаловедение

от содержания в припоях меди, цинка, олова, кадмия, их делят на мягкие (легкоплавкие) и твердые (средне- и тугоплавкие), табл. 70, 71, 72, 73, 74. При реставрации и ремонте золотых изделий используют припои 500-й и 375-й пробы.

Таблица 70

Золотые (желтого цвета) припои 585-й пробы.

Марка	Компоненты, %						Рабочая температура, °C	Цвет
	Au	Ag	Cu	Cd	Zn	Ga		
ПЗл58,5Ср12,5М20,5Ц	58,5	12,5	20,5	---	8,5	---	850	Красноватый
ПЗл58,5Ср12,5М26Ц	58,5	12,5	26,5	---	3,0	---	820	----
ПЗл58,5Ср15М22Кд2Ц	58,5	15,0	22,0	2,0	2,5	---	800	Желтый
ПЗл58,5Ср16М20,5Кд2Ц	58,5	16,0	20,5	2,0	3,0	---	780	Красноватый
ПЗл58,5Ср22М14,5Г	58,5	22,0	14,5	---	---	5,0	760	Зеленоватый

Таблица 71

Золотые (белого цвета) припои 585-й пробы

Марка	Компоненты, %						Рабочая температура, °C
	Au	Ag	Cu	Pd	Ni	Zn	
ПЗл58,5Ср26М7,4Пд6Ц	58,5	26,0	7,4	6,0	----	2,1	860
ПЗл58,5Ср10М14,5М10Ц	58,5	10,0	14,5	----	10,0	7,0	840
ПЗл58,5Ср11,5М14М8Ц	58,5	11,5	14,0	----	8,0	8,0	760
ПЗл58,5Ср14,5М11М8Ц	58,5	14,5	11,0	----	8,0	8,0	740

Таблица 72

Золотые (желтого цвета) припои 750-й пробы

Марка	Компоненты, %						Рабочая температура, °C
	Au	Ag	Cu	Cd	Zn	Sn	

## Инженерное художественное материаловедение

ПЗл75Ср15М7,35Ц	75,0	15,0	7,35	----	2,65	----	840-860
ПЗл75Ср13М9Ц3Кд	75,0	13,0	9,0	----	3,0	----	840-860
ПЗл75Ср14М8Ц3Кд	75,0	14,0	8,0	----	3,0	----	820-840
ПЗл75Ср9,5М9,5Ц40	5,0	,5	,5	---	,0	,0	800-820

Таблица 73  
Золотые (белого цвета) припои 750-й пробы

Марка	Компоненты, %						Рабочая температура, °С
	Au	Ag	Cu	Pd	Ni	Zn	
ПЗл75Ср8М5Пд10ц	75,0	8,0	5,0	10,5	----	2,0	900-1000
ПЗл75Ср7,5М5,5Пд5Н2ц	75,0	7,5	5,5	5,0	2,0	5,0	
ПЗл75Ср10М7М4Ц	75,0	10,0	7,0	----	4,0	4,0	860-900
ПЗл75М10М10Ц	75,0	----	10,0	----	10,0	5,0	840-880

Таблица 74  
Золотые припои 500-й и 375-й проб.

Марка	Проба	Компоненты, %					Рабочая температура, °С
		Au	Ag	Cu	Cd	Zn	
ПЗл50Ср25М19Ц	500	50,0	25,0	19,0	----	6,0	780-800
ПЗл50Ср20М20Кд	500	50,0	20,0	20,0	10,0	----	760-780
ПЗл50Ср25М16Кд7ц	500	50,0	25,0	16,0	7,0	2,0	720-740
ПЗл37,5Ср28м3ц	375	37,5	28,0	30,0	----	4,5	780-800

- Медно-фосфорные припои используются при пайке ювелирных изделий из латуни, мельхиора, нейзильбера, алюминиевой бронзы и медно-никелевых сплавов. Все они имеют недостаток - слабую пластичность, для увеличения которой в них добавляют олово и цинк. Приготавливают эти припои в виде порошкообразной пасты.

- Пастообразные припои (паяльные пасты). Применяются в основном при пайке серийно выпускаемых ювелирных изделий. Сделаны они на основе сплавов золота 585-й пробы. Наносят их с помощью специального дозирующего устройства - дозатора, что повышает производительность труда, а при реставрации изделий позволяет легко устранять трещины, поры, раковины.

- Припои с палладием. Припои с палладием, несмотря на их дороговизну и дефицитность, в последнее время интенсивно исследуют и рекламируют. Палладий в качестве основы припоев интересен во многих отношениях. Во-первых, он менее дефицитен, чем другие металлы платиновой группы; во-вторых, образует непрерывный ряд твердых растворов с металлами первой (серебро, медь, золото) и восьмой (железо, кобальт, никель) групп периодической системы, а со многими другими элементами образует относительно широкую область твердых растворов.

Тугоплавкие, порошкообразные припои применяют для пайки твердосплавных пластин при производстве режущего инструмента. Состав припоя: ферромарганец (40%), ферросилиций (10%), чугуная стружка (20%), медная стружка (5%), толченное стекло (15%) — плавится при температуре 1190—1300°C.

Размещение припоя. Припой для пайки прокатывается до толщины 0,2-0,3 мм и нарезают партинками (порциями) не слишком большими и не маленькими, помня, что излишки после пайки легко удаляются. Укладывать его необходимо на внутренней стороне изделия пинцетом. Если не требуется точная порция припоя, то его нарезают ленточками (палочками) с помощью специальных ножниц. Ширина ленточек примерно равна 1-1,5 мм. Припой может заготавливаться в проволоке удобного для работы сечения. Опытный ювелир старается произвести пайку как можно большего количества швов наименьшим количеством припоя. Чтобы получить качественные соединения и удалить с места пайки различные окислы применяются химикаты, называемые флюсами.

При пайке сложных изделий со швами на вертикальной стенке применяют пастообразные и порошковые припои. Легкоплавкие пастообразные припои состоят обычно из трех частей: порошкообразного припоя, флюса и загустителя. Так, пасту состава: припой Пор ПОССу-30-2 (70%), вазелин (20%), бензойная кислота (1,2%), аммоний хлористый (1,2%) и

эмульгатор ОП-7 (0,6%) — применяют для пайки стальных, медных и никелевых изделий.

#### 14.4. Флюсы применяемые для пайки.

Флюсы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

Температура плавления флюса и его удельный вес должны быть ниже температуры плавления и удельного веса припоя.

Флюс должен полностью расплавляться и иметь хорошую жидкотекучесть при температуре пайки, но в то же время не должен быть слишком текучим, чтобы не «уходить» от места пайки.

Флюс должен своевременно и полностью растворять окислы основного металла, причем флюс должен действовать при температуре на несколько градусов ниже температуры плавления припоя.

Флюс не должен образовывать соединений с основным металлом и припоем, а также поглощаться ими.

Флюс должен равномерным слоем покрывать поверхность основного металла у места пайки, предохраняя его от окисления в продолжение всего процесса пайки. Однако для того, чтобы припой мог сплошным слоем покрывать поверхность основного металла, необходимо, чтобы адгезия флюса к основному металлу (т. е. силы сцепления между флюсом и основным металлом) была слабее, чем адгезия припоя (т. е. силы сцепления между припоем и основным металлом).

Флюс не должен испаряться и выгорать при температуре пайки, а продукты его разложения и окислы должны вытесняться припоем, легко удаляться после пайки и не вызывать коррозии.

Для пайки мягкими припоями применяют кислотные или активные, антикоррозийные, бескислотные, активизированные флюсы. Кислотные или активные флюсы - на основе хлористых соединений - интенсивно растворяют окисные пленки на поверхности основного металла и тем самым обеспечивают хорошую адгезию и, следовательно, высокую механическую прочность соединения.

Остаток флюса после пайки вызывает интенсивную коррозию соединения и основного металла, а потому после пайки место пайки нужно тщательно промывать. Для пайки проводников при монтаже электрорадио приборов применять кислотные

флюсы категорически запрещается.

Кислотные флюсы. К кислотным флюсам относятся хлористый цинк (обычно в виде 30%-ного водного раствора с добавкой 0,6-0,7% свободной соляной кислоты; составляет около  $263^{\circ}\text{C}$ ), флюс-паста (хлористый цинк или хлористый аммоний с соответствующим наполнителем: ланолин, вазелин, глицерин и т. п.;  $t_{пл} = 263^{\circ}\text{C}$ ), флюс «Прима I» (раствор хлористого цинк-аммония в смеси воды и этилового спирта с добавкой глицерина,  $t_{пл} = 170^{\circ}\text{C}$ ).

### *Антикоррозийные*

### *флюсы.*

Антикоррозийными флюсами являются флюсы на основе фосфорной кислоты с добавлением различных органических соединений и растворителей, а также флюсы на основе органических кислот. Флюсы этой группы не вызывают коррозии черных металлов и поэтому после пайки не нужно удалять остатки флюса.

*Флюс ВТС.* Флюс ВТС (смесь технического вазелина с салициловой кислотой, триэтаноламином и этиловым спиртом) применяется для пайки меди, латуни, бронзы, константана, серебра, платины и сплавов платиновой группы. Этот флюс особенно удобен для пайки электромонтажных соединений, так как он обеспечивает чистоту и надежность пайки и не вызывает коррозии, даже если остается в местах пайки.

*Бескислотные флюсы.* Пайка соединений при монтаже электрорадиоприборов производится, как правило, бескислотными флюсами на основе канифоли. Сосновая канифоль представляет собой в основном смесь смоляных кислот. При хранении на воздухе канифоль поглощает кислород, причем



поглощение тем больше, чем выше температура. Измельченная канифоль в смеси с воздухом способна взрываться. Температура плавления (размягчения) канифоли колеблется в пределах от  $52^{\circ}$  до  $83^{\circ}$  С; при  $125^{\circ}$  С канифоль переходит в жидкое состояние. Основное достоинство канифоли состоит в том, что в расплавленном состоянии (при температуре  $150^{\circ}$  С) она способна растворять окислы, а после затвердевания на паяном соединении остаток флюса не вызывает коррозии. Остаток канифоли не гигроскопичен и является хорошим изолятором, что также относится к числу достоинств канифоли как флюса для пайки монтажных соединений. Являясь поверхностно-активным веществом, канифоль существенно улучшает растекание припоя. Канифоль относится к флюсам химически мало активным и может применяться при условии, если детали тщательно подготовлены к пайке, т. е. зачищены или залужены. В качестве флюсов для пайки монтажных соединений применяют натуральную канифоль (ГОСТ 797-64), а также растворы, канифоли в спирте (флюс КЭ и глицерино-канифольевый).

Активированные флюсы. Активированные флюсы на основе канифоли применяют для пайки металлов и сплавов, плохо поддающихся пайке с канифольевым флюсом; они также ускоряют процесс пайки меди и медных сплавов. В качестве активизаторов в канифоль вводят в небольших количествах солянокислый анилин, фосфорнокислый анилин, феноловый ангидрид, солянокислый диэтиламин, салициловую кислоту и т. д.

Лучшим для пайки монтажных соединений из флюсов этой группы является флюс с анилином.

Для пайки твердыми припоями применяются в основном кислотные флюсы, остатки которых необходимо удалять после пайки. В зависимости от температуры плавления они подразделяются: на флюсы с температурой плавления выше  $750^{\circ}$  С, применяющиеся для пайки тугоплавкими припоями, и флюсы с температурой плавления ниже  $750^{\circ}$  С, применяющиеся для пайки сравнительно легкоплавкими серебряными припоями. В качестве тугоплавких флюсов наибольшее распространение получили бура и борная кислота. Активной группой этих флюсов является борный ангидрид  $B_2O_3$ , который, вступая в реакцию с окислами металлов, образует бораты.

Буру применяют в виде безводной соли  $Na_2B_4O_7$  и в виде кристаллической соли  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ . Кристаллическая десятиводная бура начинает плавиться при  $75^{\circ}$ С; по мере

повышения температуры нагрева бура теряет воду, сильно при этом вспучиваясь и разбрызгиваясь, и постепенно переходит в безводную соль  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (плавленная или жженая бура); плавящуюся при температуре  $783^\circ\text{C}$ . Во избежание кипения бурь при пайке ее обычно применяют в прокаленном виде. Кристаллизационную воду удаляют путем нагрева буры до  $400 - 450^\circ\text{C}$ . Активное действие буры начинается с температуры  $800^\circ\text{C}$ , при более низких температурах бура плохо растекается. Бура в расплавленном состоянии может быть нагрета до высоких температур без заметного испарения, она весьма жидкотекучая и энергично растворяет окислы многих металлов, в особенности меди.

Борная кислота является менее активным флюсом, чем бура. Температура активного действия борной кислоты выше, чем буры, и составляет  $900^\circ\text{C}$ . Одну борную кислоту редко применяют в качестве флюса. Смеси буры и борной кислоты являются основой большинства флюсов. Для повышения активности смеси буры и борной кислоты при пайке нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов в состав флюсов вводят фтористый кальций и другие добавки.

В качестве легкоплавких флюсов для пайки серебряными и медно-фосфористыми припоями в основном применяют смеси галогенидных солей щелочных металлов с борнокислыми солями. Галогенидные соли флюсуют окислы главным образом физическим растворением, борнокислые соли оказывают химическое действие.

Флюсы применяют в виде пасты, порошка и в жидком виде.

Иногда флюсующее действие производит сам припой с соответствующими добавками раскислителей (например, меднофосфористые припои).

Подготовка деталей к пайке, лужение. Перед пайкой поверхности деталей очищают от пыли, жира, краски, ржавчины, окислов и окисной пленки. В процессе зачистки получают шероховатую поверхность с целью увеличения смачивания основного металла. Зачистку производят напильником, наждачной шкуркой, металлическими щетками (кратцевание) и др.

Обезжиривание деталей перед пайкой производят в бензине или четыреххлористом углеводе или подвергают травлению с последующей промывкой в воде и просушиванием в сушильном шкафу во избежание коррозии. Очищенные детали следует хранить в условиях, исключающих попадание на

них жира и грязи и возникновение коррозии.

В большинстве случаев детали перед пайкой лудят, что облегчает последующую пайку. Схема процесса лужения показана на рис. 185. Место пайки покрывают флюсом, затем при помощи паяльника наносится расплавленный припой. Температура деталей в зоне пайки поддерживается паяльником и должна быть на 50-100°C выше температуры плавления припоя. Если одна из поверхностей будет нагрета выше температуры плавления припоя, а вторая ниже, происходит нарушение процесса пайки, нагретую поверхность припой смачивает, а на второй он застывает и не затекает в зазоры.

### 14.5. Способы пайки.

Пайку мягкими припоями можно применять, почти для всех металлов, в разнообразных сочетаниях, включая такие легкоплавкие металлы, как олово, свинец, цинк и их сплавы. Нагрев при пайке мягкими припоями производят паяльниками, газовыми горелками, электрическим током, плавлением припоя в ваннах и т. д. В большинстве случаев для пайки мягкими припоями применяют паяльники из красной меди. Размеры паяльника должны соответствовать размерам детали, чтобы паяльник, не охлаждаясь значительно, мог нагреть кромки детали до необходимой температуры.

В зависимости от характера нагрева изделия при пайке твердыми припоями различают газовую пайку, пайку погружением в металлические ванны, пайку с погружением в соляные ванны, дуговую пайку, индукционную пайку и контактную пайку.

Газовая пайка. При газовой пайке нагрев осуществляется пламенем газовой горелки. В качестве горючего газа используют смеси различных газообразных или жидких углеводородов (ацетилен, метан, пары керосина и т. д.) и водород, которые при сгорании в смеси с кислородом дают высокотемпературное пламя. При пайке крупных деталей горючие газы и жидкости применяют в смеси с кислородом, при пайке мелких деталей в смеси с воздухом. Пайку можно выполнять как горелками специального типа, дающими широкий факел, так и нормальными, сварочными. При газовой пайке применяют как газообразные флюсы на основе метилбората, так и твердые флюсы - различные соли и их смеси, которые обычно используют в виде водных растворов.

Обработка деталей после пайки. После окончания пайки и охлаждения паяного шва остатки флюсов необходимо удалять. Если при пайке мягкими припоями используются бескислотные канифольевые флюсы, то остатки их не опасны в отношении коррозии и в доступных местах их удаляют механическим путем, обычно протиркой соединений хлопчатобумажным лоскутом, смоченным спиртом или другим растворителем. Для удаления остатков флюсов, вызывающих коррозию паяного соединения, применяют промывку в горячей (обычно 50-80°C) или холодной воде (в проточной или в ваннах), в 5%-ном растворе кальцинированной соды, бензине и в 1-3%-ном растворе натриевого (или калиевого) хромпика, а также протирку мягкой тряпкой или бязью, смоченной спиртом, ацетоном и другими растворителями, и пескоструйную обработку.

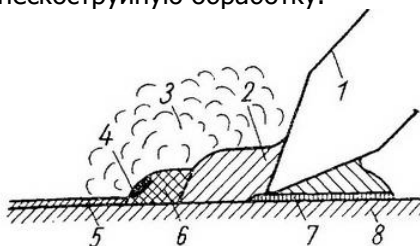


Рисунок 201. Схема лужения паяльником

1 - паяльник, 2 - припой, 3 - газообразный флюс, 4 - растворенный окисел, 5 - поверхностный слой окисла, 6 - флюс, 7 - зона сплавления припоя с основным металлом

Способы пайки. Пайку мягкими припоями можно применять, почти для всех металлов, в разнообразных сочетаниях, включая такие легкоплавкие металлы, как олово, свинец, цинк и их сплавы. Нагрев при пайке мягкими припоями производят паяльниками, газовыми горелками, электрическим током, плавлением припоя в ваннах и т. д. В большинстве случаев для пайки мягкими припоями применяют паяльники из красной меди. Размеры паяльника должны соответствовать размерам детали, чтобы паяльник, не охлаждаясь значительно, мог нагреть кромки детали до необходимой температуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Познание человеком металла прошло долгий и интересный путь. От первых самородков и метеоритного металла («небесного металла»), тонкого атомно-кристаллического строения до уникального большого адронного коллайдера в научно-исследовательском центре Европейского совета ядерных исследований человек все больше и больше узнавал о замечательных свойствах и неограниченных возможностях металлов и их сплавов. Металлы и сплавы были в прошлом и останутся еще в далекой перспективе основным строительным материалом для создания как технических изделий так и художественных произведений. Раскрывая закономерности строения, исследуя и создавая сплавы с необычными свойствами, перед человеком открываются поистине неограниченные возможности и захватывающие перспективы создания уникальных изделий, в том числе художественного направления.

Читатель, познакомившийся с данным трудом, может вполне самостоятельно выбирать и даже создавать необходимые металлические сплавы для разработки художественных изделий, проектирования технологий их изготовления и тиражирования массового изготовления, а также реставрации и сохранения уникальных предметов художественного и ювелирного искусства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.Абрамов А.А., Тихомиров М.Д. Технология получения качественных отливок из высокопрочных алюминиевых сплавов // Литейное производство. – 2007. №5. – с. 29-30.
2. Беккерт М. Мир металла. – М.: Мир, 1980. – 152 с.
3. Бочвар А.А. Металловедение. – М., 1956. – 496 с.
4. Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение / Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1975. – 472 с.
5. Воздвиженский В.М., Грачев В.А., Спасский В.В. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1984. – 432 с.
6. Воспоминания о создании авиакосмической и атомной техники из алюминиевых сплавов / И.Н. Фридляндер. Отд-ние химии и наук о материалах РАН. — 2-е изд., доп. — М. : Наука, 2006. — 287 с.
7. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. Изд. 4-е. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
8. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М.– Л., 1966. – 562 с.
9. Гнутов С. В., Зотов Е. Я. Кресты, иконы, складни. Медное художественное литье XI — начала XX века. Из собрания Центрального музея древнерусской культуры и искусства имени Андрея Рублева : [Альбом]. М.: Интебрук-бизнес, 2000.

10. Гордин Ю.А., Никифоров Б.Т. К вопросу изготовления взрывозащитных оболочек из Al-сплавов. Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы междунар. науч.-практ. конф. 4-5 март./Ростов н/Д, 2010
11. Государственная оружейная палата Московского Кремля. – М.: Изобразительное искусство, 1969. – 228 с., ил.
12. Грихелис С.Я. Защита металлов оксидными и фосфатными пленками. – М., 1958.
13. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для вузов. – 6-е изд. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
14. Дронова Н.Д. Ювелирные изделия. Справочник-энциклопедия: Классификация. Описание. Оценка. – М.: Издательский центр «Ювелир», 1996. – 352 с.
15. Жидкая сталь // Б.А. Баум, Г.А. Хасин, Г.В. Тягунов и др. – М.: 1984 – 208 с.
16. Еланский Г.Н. Строение и свойства металлических расплавов. – М.: Металлургия, 1991. – 160 с.
17. Ершов Г.С., Черняков В.А. Строение и свойства жидких и твердых металлов. М.: Металлургия, 1978. – 248 с.
18. Изготовление художественных отливок / В.А.Васильев, Н.И. Бех, Э.Ч. Гини, А. М. Петриченко. Науч. ред. В.А. Васильев – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 303 с.: ил.
19. Когда, где, как и почему это произошло. – Лондон, Нью-Йорк, Сидней, Кейптаун, Монреаль: Ридерз Дайджест, 1998. – 448 с., ил.
20. Колачёв Б.А., Благин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: «МИСИС», 2001. – 416 с.
21. Краткий справочник паяльщика / И.Е. Петрунин, И.Ю. Марков, Л.Л. Гржимальский и др.; Под общ. ред. И.Е. Петрунина. – М.: Машиностроение, 1991. – 224с.
22. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. – М.: Мир, 2003. – 528 с.
23. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов: Учебник для вузов.– М.: Металлургия, 1993. – 447 с.
24. Лейкин А.Б., Родин Б.Н. Материаловедение: Учебник для машиностр. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1971. – 416 с.
25. Линнакс Л. Алюминий в искусстве. – Таллин, 1988.
26. Мосты повисли над водами. AND BRIDGES SPANNED



THE WATERS' WIDTH... – Ленинград: Аврора, 1977. – 152 с., ил.

27. Навроцкий А.Г. Художественнаяковка. – М.: Высшая школа, 1995. – 127 с.

28. Никифоров Б.Т. Теоретические основы сталеплавильного производства.: учеб. пособие/ Б.Т. Никифоров. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012. – 131 с.

29. Никифоров Б.Т., Ансимов А.Ф. Мир художественного металла. Металлы, художественное литье иковка, ювелирное искусство / ДГТУ (монография).

30. Никифоров Б.Т. Физико-химические основы литейного производства: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 171 с.

31. Никифоров Б.Т., Гордин Ю.А. Состояние и проблемы производства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы междунар. науч.-практ. конф. 4-5 март./Ростов н/Д, 2010

32. Никифоров Б.Т., Колотиенко С.Д. Металлы и сплавы для художественных и ювелирных изделий: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2001. – 170 с.

33. Никифоров Б.Т., Колотиенко С.Д. Термодинамика и методы исследования основных металлургических реакций: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1996. – 136 с.

34. Никифоров Б.Т., Колотиенко С.Д., Глonti Ф.Г. Материалы в сельскохозяйственном машиностроении. *Материаловедение: учебник / ДГТУ.* – УМО вузов РФ по образованию (учебник): Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2006. – 219 с.

35. Никифоров Б.Т., Кутовой Н.Л. Художественное литье: Учеб. пособие/ Под ред. проф. В.В. Рубанова. – Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2007. – 159 с., ил.

36. Никифоров Б.Т., Чернова В.В. Ювелирное искусство. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 249 с., ил.

37. Одноралов Н.В. Скульптура и скульптурные материалы. – М., 1982

38. Поволоцкий Д.Я. Основы технологии производства стали: Учеб. пособие для вузов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 191 с.

39. Попель С.И., Сотников А.И., Бороненков В.Н. Теория металлургических процессов: учеб. пособие для вузов. – М.:

Металлургия, 1986. – 462 с.

40. Рубцов Н.Н. История литейного производства в СССР. – М.: Машгиз, 1962. – 288 с.

41. Русские ученые-металловеды. Жизнь, деятельность и избранные труды. – М.: Машгиз, 1951

42. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. – М.: Metallurgia, 1974. – 488 с.

43. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 3-е перераб. и доп.. – СПб.: Химиздат, 2004. – 736 с.

44. Справочник. Металлы и сплавы. С.-Пб.: АНО НПО «Профессия», АНО НПО «Мир и Семья» 2003]32.

45. Справочник. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа.: Справ. изд./банных О.А., Будберг П.Б., Алисова С.П., и др. М.: Metallurgia. 1986.- 96с.

46. Справочник по пайке / Под ред. И.Е. Петрунина. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003. 480с.

47. Трухов А.П. Литейные сплавы и плавка: Учебник для студентов высших учебных заведений / А.П. Трухов, А.И. Маляров. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.

48. Хорошев И.И., Никифоров Б.Т. Термодинамика, физическая кинетика структурообразования и свойства чугуна и стали. – М.: Metallurgia, 1971. – С. 412-416.

49. Хорошев И.И., Никифоров Б.Т., Сапелкин А.И. Ускоренный отжиг белого чугуна, микролегированного бором: Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания «Прогрессивные методы термической обработки металлов и сплавов». – М., 1976. – С. 170-171.

50. Физическая химия: Учебник для вузов – Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. М.: Metallurgia, 1987. 688 с.

51. Флеров А.В. Материаловедение и технология художественной обработки металлов: Учебник. – М.: Высш. школа, 1981. – 288 с., илл

52. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. – М.: Metallurgia, 1967. – 29-145 с.

53. Kocrogh A. Modern hungarien Mettall Work. Athenaeum Printing House. Budapest, 1964.

54. [http://www.welding.su/articles/tech/tech\\_227.html](http://www.welding.su/articles/tech/tech_227.html)
55. <http://www.bestreferat.ru/referat-92851.html>
56. <http://sharpknife.ru/?p.>
57. [http://www.arhangelskie.com/stat\\_1.html](http://www.arhangelskie.com/stat_1.html) ;
58. <http://newsland.com/news/detail/id/494187/>;
59. <http://proshloeproshlo.ru/rus-i-orda/meteority/izgotovlenie-bulatnoj-stali-uzor-na-stali-bulatnyx-nozhej.html>;
60. <http://www.anytech.narod.ru/bulat3.htm>