



## ГЛАВА 1

# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ В ЮВЕЛИРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

По назначению и применяемости все материалы, используемые в ювелирном производстве, делятся на основные и вспомогательные (рис. 1.1).



**Рис. 1.1.**

Классификация материалов, используемых в ювелирном производстве

К **основным материалам** относятся металлы и неметаллы, используемые для изготовления ювелирных изделий [9,10].

**Металлы** (от греч. *métallon* – шахта, рудник) и их сплавы – это кристаллические тела, состоящие из мелких различно ориентированных друг к другу кристаллов неправильной формы размером от  $10^{-1}$  до  $10^{-5}$  см, которые называются зернами. Атомы в металлах располагаются в виде кристаллической решетки, что обеспечивает минимальную энергию взаимодействия атомов. Металлы характеризуются пластичностью, что объясняется смещением

одной части материала относительно другой и сохранением связей между атомами. Металлы обладают физическими, механическими, химическими и технологическими свойствами. В чистом виде они не имеют необходимых технологических и физико-механических свойств и поэтому используются в виде сплавов, образованных из двух или более металлов либо из металлов и неметаллов.

Основными *физическими свойствами* металлов являются плотность  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>), температура плавления  $T_{пл}$  (°С), температура кипения  $T_{кип}$  (°С), теплопроводность (коэффициент теплопроводности)  $\lambda$  (Вт/м · К), тепловое расширение (коэффициент линейного расширения)  $\alpha \cdot 10$  (К<sup>-1</sup>), удельная теплоемкость  $c$  (кал/г·°С), электропроводность (удельная электрическая проводимость)  $\sigma \cdot 10^{-8}$  (см/м), отражательная способность  $R$  (%), цвет.

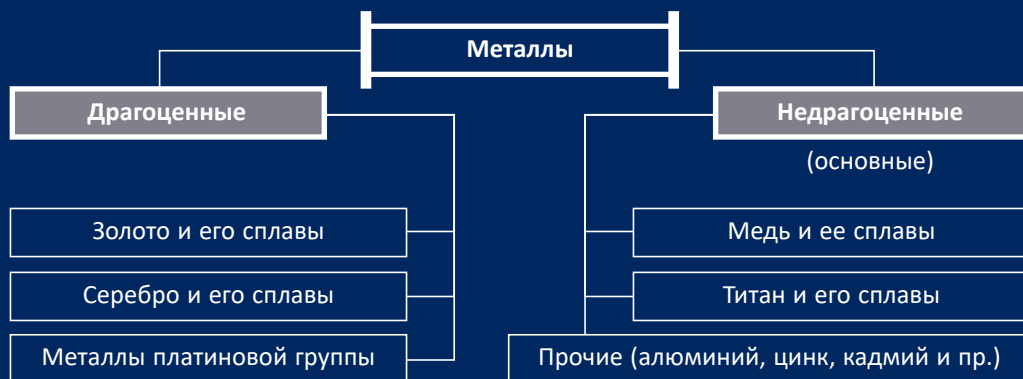
К *механическим свойствам* металлов относятся механическое напряжение (предел прочности на растяжение или сжатие)  $\sigma_b$  (Мпа, Н/мм<sup>2</sup>), деформация (пластичность, относительное удлинение при растяжении)  $\delta$  (%), ударная вязкость  $a_n$  (Дж/м<sup>2</sup>), твердость HRC, HB или HV (Па), долговечность (длительная прочность).

*Химическими свойствами* металлов являются степень взаимодействия с кислотами, щелочами и солями, способность образовывать соединения, коррозионная стойкость.

К *технологическим свойствам* относятся степень обработки резанием и давлением, жидкотекучесть, свариваемость, спаиваемость, износостойкость.

В зависимости от стоимости металлы, которые используют для изготовления ювелирных изделий или их элементов, делятся на следующие группы (рис. 1.2):

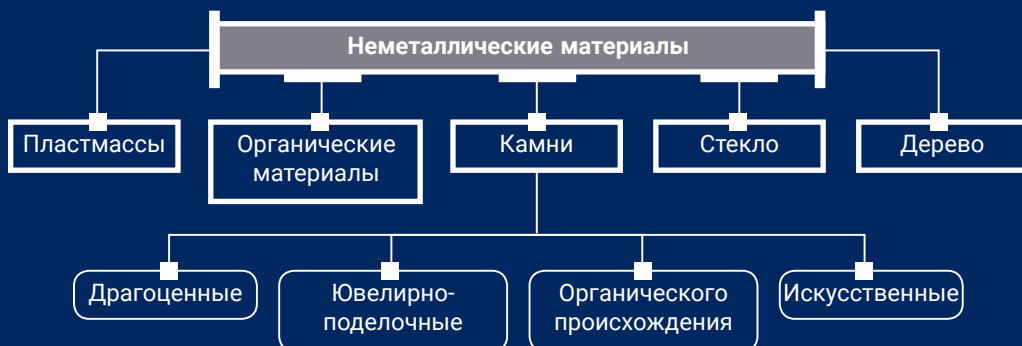
- 1) *драгоценные (благородные)*: золото, серебро и металлы платиновой группы (платина, палладий, родий, иридий, осмий, рутений);
- 2) *недрагоценные*, применяемые в ювелирных изделиях: медь, алюминий, титан и прочие металлы, используемые в качестве дополнительной лигатуры в сплавах драгоценных металлов.



**Рис. 1.2.**

Металлы, используемые для изготовления ювелирных изделий

К **неметаллическим материалам**, используемым в ювелирном производстве, относятся материалы, имеющие декоративные свойства: камни природного и искусственного происхождения, пластмассы, кожа, резина, кость, перья и прочие материалы органического и неорганического происхождения (рис. 1.3). Неметаллические материалы отличаются от металлов рядом свойств. Неметаллы имеют кристаллическую либо аморфную структуру, у них меньшая твердость и прочность, они не обладают электропроводностью и т.д.



**Рис. 1.3.**  
Разновидности неметаллических материалов

К **вспомогательным материалам** относятся прочие материалы, предназначенные для осуществления технологического процесса изготовления ювелирных изделий (рис. 1.4).



**Рис. 1.4.**  
Вспомогательные материалы

Химические реактивы предназначены для осуществления технологических операций очистки, обезжиривания, электролизных процессов, опробования сплавов благородных металлов и пр. К ним относятся кислоты, щелочи и соли.

**Кислоты** используются для травления и извлечения драгоценных металлов, приготовления отбеливающих растворов и флюсов, опробования металлов и сплавов и пр. Для этих целей применяют следующие кислоты.

*Азотная кислота*  $HNO_3$  – слегка дымящаяся на воздухе бесцветная жидкость. Является сильнодействующей и химически активной кислотой, взаимодействующей со всеми металлами, кроме золота и платины. Ее плотность  $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$ . Азотная кислота смешивается с водой в любом соотношении. При температуре  $42 \text{ }^\circ\text{C}$  застывает в кристаллическую массу. Под воздействием света разлагается на воду, кислород и пары  $NO_2$ :



Взаимодействует с медью в сплавах золота и серебра по следующей реакции:



с серебром взаимодействует с образованием ляписа:

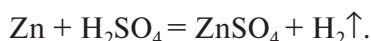


Азотную кислоту используют для проведения пробирных работ, травления поверхности и прочих технологических операций.

*Серная кислота*  $H_2SO_4$  – гигроскопичная бесцветная маслянистая жидкость плотностью  $\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$ , которая при температуре  $10,4 \text{ }^\circ\text{C}$  образует твердую кристаллическую массу. Растворяясь в воде, выделяет тепло. При смешивании с водой надо помнить, что *кислоту заливают в воду*. Концентрированная серная кислота при нагревании растворяет все металлы, кроме золота и платины.

Серную кислоту используют для извлечения золота, приготовления отбеливающих растворов, а также при омеднении и пробировании серебра.

С металлами серная кислота взаимодействует по следующей схеме:



Травление меди выполняют по реакции



Серную кислоту применяют для отбеливания меди, т.е. для удаления оксида меди в сплавах золота и серебра, по следующей реакции:



*Соляная кислота*  $HCl$  – бесцветная жидкость с резким запахом плотностью  $\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$ , которая «дымится» на воздухе и от воздействия света окрашивается в желтый цвет. Максимальная концентрация кислоты 36%. Для технических целей используют концентрацию 20,0–27,5%.

Соляную кислоту применяют для проведения пробирования и осаждения серебра.

«Царская водка» (смесь кислот  $3\text{HCl}$  и  $\text{HNO}_3$ ) – красновато-коричневая жидкость, которая используется для пробирного анализа: растворяет драгоценные металлы, кроме родия, иридия и осмия. Платина растворяется в горячей «царской водке».

Ортофосфорная кислота  $\text{H}_3\text{PO}_4$  представляет собой бесцветные кристаллы плотностью  $\rho = 1,8 \text{ г/см}^3$ , хорошо растворяющиеся в воде. Кислота применяется для изготовления электролитов, предназначенных для родирования ювелирных изделий.

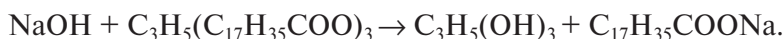
Борная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – белое кристаллическое вещество, легко растворяющееся в горячей воде, плотностью  $\rho = 1,4\text{--}1,5 \text{ г/см}^3$ . Химически слабая кислота, которая используется для изготовления флюсов при пайке и плавке металлов.

В ювелирном производстве используют также другие кислоты:

- синильную  $\text{HCN}$  – компонент электролизных растворов;
- плавиковую (фтористоводородную)  $\text{HF}$  – компонент растворов и электролитов;
- уксусную  $\text{CH}_3\text{COOH}$  – компонент растворов и электролитов;
- лимонную  $\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}\cdot\text{H}_2\text{O}$  – компонент растворов и для отбеливания металлов;
- двухромовую  $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ;
- щавелевую  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  – в качестве отбеливающего раствора.

**Щелочи** применяются в основном для операций обезжиривания, а также электролитического золочения, серебрения и родирования. В ювелирном деле используют едкий натрий  $\text{NaOH}$ , едкий калий  $\text{KOH}$ , аммиак  $\text{NH}_3$ , гидроксид аммония  $\text{NH}_4\text{OH}$ , или нашатырный спирт.

Едкий натрий  $\text{NaOH}$  – гигроскопичные кристаллы белого цвета, хорошо растворяющиеся в воде. Процесс обезжиривания сопровождается образованием глицерина и соли жирной кислоты:

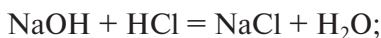


Едкий калий  $\text{KOH}$  по своим химическим свойствам сходен с едким натрием.

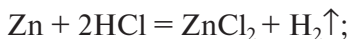
Аммиак  $\text{NH}_3$  и гидроксид аммония  $\text{NH}_4\text{OH}$  обладают щелочной реакцией. Разбавленный раствор гидроокиси аммония называют нашатырным спиртом; его применяют для удаления жировых пятен.

**Соли** в ювелирном деле могут использоваться как простые, так и двойные. Они образуются в результате реакций:

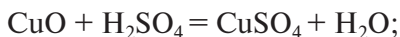
- нейтрализации:



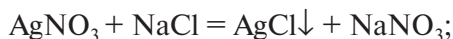
- взаимодействия металлов с кислотами:



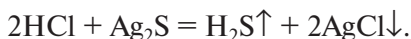
- взаимодействия кислот и оксидов:



- обмена солей:



- двойного обмена:



Применяют также следующие виды солей: йодистый калий KI, азотно-кислое серебро (ляпис)  $\text{AgNO}_3$ , поваренная соль NaCl, силикат натрия  $\text{NaSiO}_3$ , сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , натриевая  $\text{NaNO}_3$  и калиевая  $\text{KNO}_3$  селитра, цианистый калий KCN, железистосинеродистый калий  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и др.

*Йодистый калий KI* – кристаллы темно-бурого цвета плотностью  $\rho = 3,13 \text{ г/см}^3$ , хорошо растворяющиеся в воде. Используется для пробирования платиновых сплавов.

*Азотнокислое серебро (ляпис)  $\text{AgNO}_3$*  – бесцветные кристаллы плотностью  $\rho = 4,35 \text{ г/см}^3$ , растворяющиеся в воде и глицерине. Разлагается при температуре  $444 \text{ }^\circ\text{C}$ . Применяется в электролитах при серебрении, а также в реактивах для пробирования серебра.

*Поваренная соль NaCl* – белые кристаллы плотностью  $\rho = 2,16 \text{ г/см}^3$ . Применяется при химическом травлении и пассивировании для образования тонкой защитной пленки на поверхности металла, а также в растворах электролитов.

*Силикат натрия (жидкое стекло, канцелярский клей)  $\text{NaSiO}_3$*  – растворяется в воде, плавится при температуре  $1088 \text{ }^\circ\text{C}$ . Применяется в составе электролитов для золочения, родирования, серебрения, а также в качестве связующего при изготовлении магнезитовых тиглей для плавки платины.

*Сода, или карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$* , – белый порошок плотностью  $\rho = 2,5 \text{ г/см}^3$ , растворяющийся в воде. Используется для приготовления обезжиривающих растворов.

*Селитра натриевая  $\text{NaNO}_3$  и калиевая  $\text{KNO}_3$*  – бесцветные кристаллы плотностью  $\rho$  соответственно  $2,25$  и  $2,21 \text{ г/см}^3$ , растворяющиеся в воде. При нагревании до температуры плавления золота, серебра и их сплавов селитра разлагается с выделением кислорода; кислород, взаимодействуя с элементами шихты, образует их оксиды, которые затем выводятся в шлак. Натриевая селитра плавится при температуре  $316 \text{ }^\circ\text{C}$ , калиевая – при температуре  $339 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Цианистый калий KCN* – очень ядовитая соль плотностью  $\rho = 1,25 \text{ г/см}^3$ , легко растворяющаяся в воде. Представляет собой бесцветные кристаллы. Применяется в технологии гальванических покрытий в составе электролитов, а также для обезжиривания изделий.

*Железистосинеродистый калий  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$*  (желтая кровяная соль) – светло-желтые кристаллы плотностью  $\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$ , которые растворяются в воде, водный раствор на свету от действия солнечного света разлагается. Применяется в электролитах при серебрении.

*Хромовокислый калий*  $K_2CrO_4$  – кристаллы ярко-желтого цвета плотностью  $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ , растворяющиеся в воде. Используется для электрохимического оксидирования серебра, а также при пассивировании серебра и меди.

*Хромпик*  $K_2Cr_2O_7$  – кристаллы ярко-оранжевого цвета плотностью  $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ , которые растворяются в воде. Применяется для пробирования металлов, в растворах электролитов для химического травления, а также для пассивирования серебряных и медных сплавов.

*Поташ*  $K_2CO_3$  – белый порошок плотностью  $\rho = 2,29 \text{ г/см}^3$ . Растворяется в воде и расплавляется во влажном воздухе. Применяется для чернения в качестве одного из компонентов, а также для оксидирования серебра при чернении, в качестве флюса при плавке, в растворах электролитов для блестящего золочения.

*Хлористое серебро*  $AgCl$  – образуется в результате химических реакций в виде белого твердого осадка плотностью  $\rho = 5,56 \text{ г/см}^3$ . В воде не растворяется, но растворяется в цианистом калии и гидроксиде аммония. Используется при изготовлении электролитов для серебрения.

*Хлорное золото*  $AuCl$  – кристаллы красновато-коричневого цвета плотностью  $\rho = 3,9 \text{ г/см}^3$ , растворяющиеся в воде, спирте, эфире. Разлагается при температуре  $254 \text{ }^\circ\text{C}$ . Применяется в растворах электролитов для золочения.

*Калия дицианоаурат*  $KAu(CN)_2$  и *калия дицианоаргентат*  $KAg(CN)_2$  – золото- и серебросодержащие компоненты растворов электролитов.

*Калий лимоннокислый двузамещенный*  $(K_2HC_6) \cdot H_5O_7$  и *калий роданистый*  $KCNS$  применяются в растворах.

## 1.1. Драгоценные металлы

**Добыча и потребление драгоценных металлов в ювелирной отрасли.**

*Добыча золота.* Среди лидеров по добыче золота сохраняют свои позиции Китай, Австралия, Россия, США, а также Перу, ЮАР, Мексика, Узбекистан, Индонезия и Гана. Сведения о добыче золота в разных странах приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Добыча золота по странам

Страна	Добыча по годам		
	2010	2015	2019
Китай	351,1	460,3	383,2
Российская Федерация	203,1	255,3	329,5
Австралия	256,7	279,2	325,1
США	231,3	216,7	200,2
Канада	102,1	157,7	182,9
Перу	184,8	170,5	143,3
Гана	94,3	95,4	142,4
ЮАР	210,0	162,0	118,2
Индонезия	134,6	122,3	82,6
<b>Всего по всему миру</b>	<b>2804,3</b>	<b>3336,4</b>	<b>3533,7</b>



# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>ГЛАВА 1. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ В ЮВЕЛИРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</b> .....	4
1.1. Драгоценные металлы .....	10
1.1.1. Физико-механические свойства драгоценных металлов .....	14
1.1.2. Технологические свойства драгоценных металлов .....	17
1.1.3. Химические свойства драгоценных металлов .....	19
1.1.4. Сплавы драгоценных металлов и их свойства .....	21
1.1.5. Пробы драгоценных металлов .....	35
1.1.6. Пробирование ювелирных изделий .....	42
1.2. Недрагоценные металлы .....	48
1.2.1. Цветные металлы ювелирного производства .....	49
1.2.2. Сплавы цветных металлов .....	52
1.3. Плавка металлов и сплавов .....	56
1.4. Термообработка металлов .....	67
<b>ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УКРАШЕНИЙ</b> .....	73
2.1. Литые ювелирных изделий .....	76
2.1.1. Проектирование литейных заготовок украшений .....	79
2.1.2. 3D-печать моделей изделий .....	82
2.1.3. Технология изготовления резиновых пресс-форм .....	85
2.1.4. Изготовление восковых моделей .....	89
2.1.5. Изготовление литейных форм .....	94
2.1.6. Технологии ювелирного литья .....	98
2.1.7. Ювелирное литье на базе природных растений .....	113
2.1.8. Дефекты литья .....	115
2.2. Керамические заготовки из порошков .....	118
2.2.1. Технология порошковой металлургии .....	119
2.2.2. Ювелирная керамика .....	122
2.2.3. 3D-печать металлами .....	124
2.2.4. Изделия из металлической глины .....	127
2.3. Производство заготовок обработкой давлением .....	128
2.3.1. Прокатка металлов .....	130
2.3.2. Технология волочения .....	137
2.3.3. Штамповка заготовок .....	141
2.4. Методы изготовления изделий обработкой резанием .....	146
2.4.1. Ручное изготовление заготовок украшений .....	146
2.4.2. Обработка заготовок на металлорежущих станках .....	149



2.5. Изготовление художественных украшений из проволоки . . . . .	152
2.5.1. Филигранные изделия . . . . .	153
2.5.2. Вязание и плетение ювелирных изделий из проволоки . . . . .	158
2.6. Технологии монтировочных и сборных изделий . . . . .	160
2.6.1. Соединение пайкой . . . . .	160
2.6.2. Соединение сваркой . . . . .	169
2.6.3. Заклепочные, шарнирные, штифтовые и резьбовые соединения . . . . .	173
2.6.4. Клеевые соединения материалов . . . . .	176

### **ГЛАВА 3. ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ . . . . . 179**

3.1. Методы художественной обработки металлов давлением . . . . .	181
3.2. Декоративная обработка материалов резанием . . . . .	186
3.2.1. Обработка лезвийным инструментом . . . . .	187
3.2.2. Абразивная декоративная обработка украшений . . . . .	192
3.3. Термические методы декоративной обработки . . . . .	198
3.3.1. Термическое окрашивание металлов . . . . .	198
3.3.2. Наплавление драгоценных металлов . . . . .	200
3.3.3. Термическое фактурирование методом ретикуляции . . . . .	204
3.4. Нанесение покрытий напылением . . . . .	206
3.5. Химико-термическое окрашивание металлов . . . . .	210
3.6. Нанотехнологии в ювелирном деле . . . . .	212
3.7. Художественные покрытия неметаллическими материалами . . . . .	220
3.7.1. Технологические методы декоративного эмалирования . . . . .	221
3.7.2. Декоративная обработка чернением . . . . .	229
3.8. Химические методы отделки поверхностей . . . . .	231
3.9. Электрохимические методы обработки . . . . .	238
3.9.1. Виды покрытий и методы их нанесения . . . . .	245
3.9.2. Электрохимические методы цветового окрашивания металлов . . . . .	255
3.10. Электрофизические методы художественной обработки материалов . . . . .	263

### **ГЛАВА 4. ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ . . . . . 266**

4.1. Неорганические материалы в украшениях . . . . .	267
4.1.1. Ювелирные камни . . . . .	267
4.1.2. Основные формы вставок ювелирных камней . . . . .	270
4.1.3. Виды и способы закрепки вставок . . . . .	272
4.1.4. Методы закрепки вставок . . . . .	275
4.1.5. Методы повышения эстетических качеств ювелирных камней . . . . .	286
4.2. Ювелирные стекла в украшениях . . . . .	294
4.3. Технология художественной обработки органических материалов . . . . .	302
4.3.1. Художественная обработка украшений с пластиком . . . . .	302
4.3.2. Эластомеры (резина и каучук) в ювелирных изделиях . . . . .	304

4.3.3. Художественная обработка кож для ювелирных украшений . . . . .	306
4.3.4. Перья и волосы в ювелирных украшениях . . . . .	310
4.3.5. Технология художественной обработки рога и кости . . . . .	312
4.3.6. Художественная обработка перламутра . . . . .	314
4.3.7. Методы обработки древесины для ювелирных изделий . . . . .	316
4.3.8. Коралл и его обработка . . . . .	317
4.3.9. Смолы в ювелирных украшениях. . . . .	319
<b>ГЛАВА 5. СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ МАШИНЫМ СПОСОБОМ . . . . .</b>	<b>321</b>
5.1. Производство ювелирных цепочек . . . . .	321
5.1.1. Классификация ювелирных цепочек . . . . .	322
5.1.2. Способы изготовления ювелирных цепочек . . . . .	324
5.2. Обручальные кольца . . . . .	334
5.3. Бижутерийные украшения . . . . .	336
5.4. Ювелирные часы . . . . .	342
5.5. Медали, значки и монеты . . . . .	348
<b>ГЛАВА 6. ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЮВЕЛИРНОГО ПРОИЗВОДСТВА . . .</b>	<b>352</b>
6.1. Структура производства . . . . .	352
6.2. Компоновка производства и организация рабочих мест . . . . .	354
6.3. Состав и квалификация рабочих ювелирного производства . . . . .	357
6.4. Маркировка, упаковка и клеймение ювелирных изделий и камней . . . . .	359
<b>ЛИТЕРАТУРА. . . . .</b>	<b>361</b>