



УЧЕБНИК
СИБИРСКОГО
ФЕДЕРАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 739.2(07)
ББК 34.799.8я73
Т384

Авторский коллектив:

И. А. Капошко, С. Б. Кузембаев, Л. С. Кузембаева, С. В. Мишнёв,
В. Г. Березюк, С. И. Лыткина

Рецензенты:

К. В. Сафонов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика» Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва;

Ж. О. Нурмаганбетов, доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерные технологии и транспорт» Кокшетауского государственного университета им. Ш. Уалихонова

Т384 Технология художественной обработки материалов :
учебник / И. А. Капошко, С. Б. Кузембаев, Л. С. Кузембаева [и др.] ;
под общ. ред. И. А. Капошко. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т,
2021. – 500 с.
ISBN 978-5-7638-4139-8

Даны сведения по истории литья,ковки, художественной обработки камня. Рассмотрены информационные технологии, основные способы художественной обработки металлических и неметаллических материалов, особенности применения этих материалов, инструментов и оборудования.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 22.04.01.04 «Синтез и литье новых металлических материалов», 22.04.02.10 «Технологии ювелирной и художественной обработки», 29.03.04 «Технология художественной обработки материалов».

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 739.2(07)
ББК 34.799.8я73

ISBN 978-5-7638-4139-8

© Сибирский федеральный
университет, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	
ХУДОЖЕСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	13
1.1. Сплавы для художественных отливок.....	13
1.1.1. Отливки и сплавы	13
1.1.2. Литейные свойства сплавов.....	14
1.1.3. Обзор литейных художественных и ювелирных сплавов	15
1.2. Металлы и сплавы для обработки давлением.....	32
1.2.1. Свойства и классификация сталей и сплавов	32
1.2.2. Сортамент стали.....	35
1.2.3. Режимы нагрева металлов.....	36
1.2.4. Время нагрева.....	39
1.3. Минералогия ювелирных и поделочных камней	40
1.3.1. Общие сведения о минералах	40
1.3.2. Конституция минералов: строение и химический состав.....	43
1.3.3. Морфология минералов.....	52
1.3.4. Свойства минералов.....	79
1.3.5. Генезис минералов.....	91
1.3.6. Систематика минералов	103
1.4. Ювелирные и поделочные камни	122
1.4.1. Понятие ювелирных и поделочных камней	122
1.4.2. Особенности состава, происхождения и качественная характеристика полиминеральных цветных камней.....	123
1.4.3. Основные свойства и происхождение ювелирных разновидностей биолитов.....	127
1.4.4. Оценка ювелирных камней.....	134
1.4.5. Экспертная оценка бриллиантовая	139
Контрольные вопросы и задания к главе 1	150
Библиографический список к главе 1.....	151

2. ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ЛИТЬЕ	153
2.1. История литейного дела.....	153
2.2. Классификация художественных отливок	158
2.3. Плавка сплавов	161
2.3.1. Общие сведения о плавке сплавов	161
2.3.2. Шихтовые металлические материалы	162
2.3.3. Шихтовые неметаллические материалы.....	163
2.3.4. Расчет шихты	164
2.3.5. Плавильные печи	166
2.3.6. Подготовка шихты для плавки	168
2.3.7. Особенности плавки сплавов.....	168
2.4. Литье в разовые песчано-глинистые формы.....	170
2.4.1. Общие данные	170
2.4.2. Формовочные материалы и смеси.....	170
2.4.3. Изготовление литейных форм и стержней	180
2.5. Литниковая система, ее назначение и устройство	254
2.5.1. Основные понятия.....	254
2.5.2. Типы литниковых систем	258
2.5.3. Расчет литниковой системы	260
2.5.4. Подвод металла в полость формы	264
2.6. Специальные виды художественного литья	265
2.6.1. Изготовление отливок по выплавляемым моделям	265
2.6.2. Литье в гипсовые формы	292
2.6.3. Литье в керамические формы, изготовленные по постоянным моделям	296
2.6.4. Литье по газифицируемым моделям	298
2.6.5. Вакуумно-плечное изготовление форм.....	300
2.6.6. Литье в кокиль	302
2.6.7. Литье под давлением	303
2.6.8. Центробежное литье	304
2.7. Подготовка форм к заливке	304
2.7.1. Окраска форм и стержней.....	304
2.7.2. Сушка форм и стержней	305
2.7.3. Сборка и подготовка форм к заливке	306
2.8. Выбивка, очистка и отделка отливок.....	308
2.8.1. Выбивка отливок из форм	308
2.8.2. Обрубка отливок	310
2.8.3. Очистка отливок	311
2.9. Контроль качества отливок	313
2.9.1. Дефекты отливки	313
2.9.2. Основные виды брака в отливках и причины его образования	313
2.10. Механическая обработка и сборка художественных отливок	316
2.10.1. Сущность и значение обработки отливок	316

2.10.2. Термическая обработка	317
2.10.3. Обработка поверхности отливок	318
2.10.4. Чеканка отливок	319
2.10.5. Сборка отливок	320
2.10.6. Окраска отливок	321
2.10.7. Химическое декорирование	322
Контрольные вопросы и задания к главе 2	325
Библиографический список к главе 2	326
3. ОСНОВЫ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ КОВКИ МЕТАЛЛОВ.....	329
3.1. История кузнечного дела	329
3.2. Общие сведения о ковке металла	331
3.3. Кузнечный инструмент и оборудование	333
3.3.1. Кузнечные горны	333
3.3.2. Пневматические молоты	334
3.3.3. Инструменты и приспособления	341
3.4. Операции при ковке металла	351
3.4.1. Классификация поковок и операций ковки	351
3.4.2. Предварительные операции	352
3.4.3. Протяжка, разгонка и раскатка	355
3.4.4. Протяжка в плоских бойках	357
3.4.5. Протяжка в вырезных бойках	360
3.4.6. Прочие операции	362
3.5. Соединение деталей	365
3.5.1. Общие данные о соединении деталей	365
3.5.2. Соединение хомутами	366
3.5.3. Клепка	366
3.5.4. Сварка	367
Контрольные вопросы и задания к главе 3	368
Библиографический список к главе 3	368
4. ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА КАМНЯ	369
4.1. Краткая история развития промысла в России	369
4.2. Инструменты для обработки камня	372
4.3. Общая технология обработки камня	381
4.4. Изготовление художественных изделий	386
4.5. Изготовление кабошона	392
4.6. Изготовление плоских изделий	396
4.7. Разработка художественно-промышленного изделия из камня – шкатулки	397
4.8. Изготовление бусин	402
Контрольные вопросы и задания к главе 4	403
Библиографический список к главе 4	403
5. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	404
5.1. Понятия информационных систем и технологий	404

5.2. Основные понятия и концепции CALS-технологий	408
5.2.1. Жизненный цикл изделия (продукции) и его составляющие	408
5.2.2. Сущность CALS-технологии. Стандарты ISO.....	413
5.2.3. Информационная поддержка процессов эксплуатации изделий.....	421
5.3. Системы автоматизированного проектирования.....	426
5.3.1. Сущность проектирования. Цели и принципы построения САПР.....	426
5.3.2. Виды обеспечения САПР	432
5.4. Системы компьютерной графики и геометрического моделирования	445
5.4.1. Средства компьютерной графики.....	445
5.4.2. Системы геометрического моделирования	451
Контрольные вопросы и задания к главе 5	454
Библиографический список к главе 5	455
6. ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ.....	457
6.1. Сущность быстрого прототипирования.....	457
6.2. Технологии быстрого прототипирования.....	461
6.3. 3D-принтеры.....	471
6.4. Использование быстрого прототипирования при художественной обработке материалов	474
Контрольные вопросы и задания к главе 6	476
Библиографический список к главе 6	476
7. ГЛОБАЛЬНЫЕ И ЛОКАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ	478
7.1. Сущность и классификация сетей	478
7.2. Глобальные информационные сети.....	481
7.2.1. Общие данные	481
7.2.2. Основные возможности сети Интернет.....	482
7.3. Локальные информационные сети	485
7.3.1. Понятие и особенности локальных сетей.....	485
7.3.2. Состав и структура функционирования локальной сети	487
7.3.3. Методы доступа, применяемые в локальных сетях	491
7.4. Социальные сети	493
Контрольные вопросы и задания к главе 7	497
Библиографический список к главе 7.....	498

1. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ХУДОЖЕСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. Сплавы для художественных отливок

1.1.1. Отливки и сплавы

Отливками называются литые изделия, т. е. изделия, полученные из жидкого металла при его затвердевании в специальной *литейной форме*. Чистые металлы для изготовления художественных отливок практически не применяются вследствие неудовлетворительных физико-химических и технических свойств: чрезвычайно высокой пластичности золота и серебра, низкой коррозионной стойкости железа, низких механических свойств меди и т. д. Добавление в металл других элементов, называемое *легированием*, дает возможность изменять эти свойства в лучшую сторону, а также придавать изделиям различные цветовые оттенки, тем самым повышая эстетическую ценность изделия.

Вещество, образовавшееся при совместном расплавлении двух или нескольких металлов и последующей кристаллизации (затвердевании) полученного расплава, называется *сплавом*. Сплавы, используемые для художественных отливок, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Сплавы для художественных отливок

Черные металлы		Цветные металлы				
Чугун	Сталь	Тяжелые				Легкие
		Легкоплавкие	Медные	Цинковые	Благородные	Алюминиевые
Серый чугун, фосфористый чугун	Мало- и среднеуглеродистая	Свинец, олово	Бронзы, латуни, медно-никелевые		Серебряные, золотые, платиновые	

Из табл. 1.1 следует, что для получения художественных отливок фактически используются все металлические сплавы, наиболее распространенные в промышленности.

Из черных сплавов наибольшее применение находит серый чугун. Все указанные в данной таблице цветные металлы (за исключением платины) широко используют для художественных отливок, особенно медные сплавы бронзы, латуни, что определяется их хорошими литейными свойствами в сочетании с красивым исполнением поверхности.

1.1.2. Литейные свойства сплавов

Литейными свойствами сплавов называют комплекс физико-химических и специфических технологических свойств, который характеризует способность расплава образовывать отливку с заданными технологическими свойствами и с минимально допустимым количеством или же вовсе без литейных дефектов. Проще говоря, литейные свойства дают возможность получить художественную отливку с точными и гладкими поверхностями без *пригара* (прикипевшие к поверхности отливки песчинки и другие частицы материала литейной формы), без внутренних полостей (так называемых *раковин* и *пор*), без трещин и других дефектов.

Важнейшими литейными свойствами считаются жидкотекучесть, объёмная и линейная усадка (определяют склонность сплава к образованию усадочных раковин), литейные напряжения. Наиболее сильное влияние на литейные свойства оказывают температура и химический состав сплава.

Жидкотекучесть – это способность сплавов в жидком состоянии заполнять полость формы и точно воспроизводить ее очертания в отливке; зависит от природы сплава, свойств литейной формы и условий заливки.

Неметаллические включения – химические соединения металлов с неметаллами. В основном это оксиды, нитриды, карбиды (последние преимущественно в черных сплавах). Их источниками служат грязь, окисленный металл, плохо счищенный шлак с зеркала металла, химические реакции при *модифицировании* (изменении структуры) сплава. Эффективным средством для удаления включений является выдержка жидкого металла перед разливкой или рафинирование (очищение) сплава.

Усадка – это уменьшение объема залитого в форму сплава при его охлаждении. Суммарное уменьшение объема сплава при остывании до температуры затвердевания и при последующем затвердевании называется *объемной усадкой*. Уменьшение линейных размеров отливки по сравнению с размерами модели отливки называется *линейной усадкой*. Так как литейная форма, как правило, препятствует отливке свободно уменьшать свои размеры, то в отливках обычно имеет место *затрудненная* линейная усадка, величина которой меньше свободной. Такую затрудненную усадку называют *литейной*. Она зависит от химического состава сплава, конфи-

гурации отливки, температуры заливки металла в форму, скорости охлаждения в форме.

Литейная усадка складывается из усадки в жидком, твердожидком и твердом состояниях. Из-за усадки металла возможно появление усадочной раковины, усадочной пористости, деформаций и трещин. Если в отливке образуется сравнительно крупная полость, то это будет *усадочная раковина*. *Усадочная пористость* проявляется в виде большого количества мелких пор. Раковины и пористость, если они не выходят на поверхность отливки, не являются дефектами для художественных отливок. Предупреждение усадки – рациональная литниковая система и соблюдение режимов плавки, заливки и затвердевания сплава. Среднее значение линейной усадки: серого чугуна – около 1 %; стали – 2 %; медных сплавов – 1,5 %.

Из-за усадки, неравномерного охлаждения частей отливки и неподатливости литейной формы в отливках возникают *внутренние напряжения*. Если они не вызывают деформации отливки или трещин, то напряжения не являются браковочным признаком художественной отливки.

1.1.3. Обзор литейных художественных и ювелирных сплавов

Сплавы на основе железа. Из большого количества сплавов на основе железа в художественном литье используется преимущественно серый чугун. *Чугун* – сплав железа с углеродом (от 2,14 до 6,67 %) и другими примесями (кремния, марганца, фосфора, серы и др.). *Серым* называют чугун из-за цвета его излома, так как почти весь углерод в таком чугуне находится в свободном состоянии в виде включений графита. Как правило, для художественного литья используют чугун с пластинчатым графитом. Серый чугун обладает относительно низкой температурой заливки (1 300–1 450 °С) и хорошими литейными свойствами, в том числе высокой жидкотекучестью. Химический состав художественного чугуна варьирует в широких пределах, %: С – 3,3–3,7; Si – 1,4–2,6; Mn – 0,5–0,8; S – до 0,15; P – до 1 %. Фосфор в чугуне способствует *графитизации* – переходу углерода в состояние графита – и сильно увеличивает жидкотекучесть.

Лучший чугун получают при плавке на древесном угле (вагранка) или в тигле (газовая, индукционная и другие печи).

Сплавы на основе меди. Медные сплавы в зависимости от химического состава подразделяются на латуни и бронзы.

Латуни – это сплавы меди с цинком (до 50 % Zn), часто с добавлением алюминия, кремния, марганца, никеля и т. д.

Бронзы – это сплавы меди с оловом, алюминием, никелем, железом и другими элементами. Сплавы меди с 5–13 % олова называют *оловянными*

бронзами. Сплавы меди с алюминием, свинцом, марганцем и другими элементами относят к *безоловянным бронзам*. Бронза – один из наиболее распространенных материалов художественных отливок.

По объему производства среди цветных металлов медь занимает второе место после алюминия. Свойства меди: температура плавления – 1 083 °С; плотность – 8,96 г/см³, кристаллическая решетка гранцентрированная кубическая с периодом a , равным 0,36074 нм.

Медь обладает высокими коррозионными свойствами, устойчива на воздухе, в морской и пресной воде и в ряде химически агрессивных сред. Медь имеет хорошие технологические свойства, удовлетворительные литейные свойства, прекрасно полируется, паяется, сваривается. К недостаткам меди относится ее дефицитность и высокая стоимость.

Используемые для изготовления художественных отливок медные сплавы относятся к литейным. Это литейные латуни, бронзы литейные оловянные и безоловянные.

Оловянные бронзы находят широкое применение в различных областях промышленности и для изготовления художественных изделий. Они обладают высокой жидкотекучестью, а большой интервал кристаллизации (150–200 °С) позволяет получать отливки сложной конфигурации без концентрированных усадочных раковин. Благодаря высокой устойчивости против коррозионных воздействий литейные оловянные бронзы широко применяются для скульптур, уличной архитектуры. При этом наилучшей считается бронза с содержанием олова порядка 5–7 %, а добавка 5–7 % цинка и 1–4 % свинца повышает свойства.

Однако из-за наличия дорогостоящего компонента – олова – стоимость этих бронз высока. В художественном литье применяются бронзы марок БХ (Х означает «художественная») с пониженным содержанием олова.

Состав и свойства оловянных бронз приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Состав и свойства оловянных бронз

Марка	Химический состав, %				Температура плавления, °С	Плотность, г/см ³
	Sn	Zn	Pb	Примечание		
БрОЗЦ12С5	2,0–3,5	8,0–13,0	3,0–6,0	–	980	8,60
БрОЗЦ7С5Н1	2,5–4,0	6,0–9,3	3,0–6,0	2 % Ni	1 030	8,80
БрО5Ц5С5	4,0–6,0	4,0–6,0	4,0–6,0	–	915	8,80
БрО6Ц6С3	5,0–7,0	5,0–7,0	2,0–4,0	–	967	8,82
БрО8Ц4	7,0–9,0	4,0–6,0	–	–	1 010	8,80
БрО10Ф1	9,0–11,0	–	–	1 % P	934	8,60
БрО10Ц2	9,0–11,0	1,0–3,0	–	–	1 000	8,70
БХ1	4,0–7,0	5,0–8,0	1,0–4,0	–	970	8,80
БХ2	1,0–5,0	8,0–13,0	1,0–6,0	–	–	8,60
БХ3	0,5–3,0	25,0–35,0	1,0–3,0	–	–	8,30

Температура заливки всех сплавов составляет 1 125–1 150 °С.

Цвет бронзы зависит от количества олова в ней. В табл. 1.3 продемонстрировано влияние процентного содержания олова на цвета и оттенки оловянных бронз.

Таблица 1.3

Химический состав, %, и цвета (оттенки) медно-оловянных сплавов

Номер сплава	Состав		Цвет сплава	Номер сплава	Состав		Цвет сплава
	Cu	Sn			Cu	Sn	
1	99	1	Бледно-красный	7	75	25	Голубовато-красный
2	95	5	Бледно-розовый	8	73	27	Темно-серый
3	92	8	Красновато-желтый	9	70	30	Белый
4	90	10	Оранжево-желтый	10	65	35	Голубовато-серый
5	86	16	Желтый	11	50	50	Светло-серый
6	80	20	Желтый с золотистым оттенком	12	–	>70	Серо-стальной

Примечание. Сплав № 6 – колокольная бронза; сплав № 9 – зеркальная бронза.

Безоловянные бронзы (табл. 1.4) дешевле, по механическим и коррозионным свойствам не уступают оловянным, а некоторые превосходят их. Недостаток данных бронз – большая усадка; отливки получаются неплотными, с усадочными раковинами.

Таблица 1.4

Бронзы безоловянные

Марка	Химический состав, %				Температура плавления, °С	Плотность, г/см ³
	Al	Fe	Mn	Ni		
БрА9Мц2Л	8,0–9,5	–	1,5–2,5	–	1 060	7,6
БрА10Мц2Л	9,6–11,0	–	1,5–2,5	–	1 040	7,5
БрА9ЖЗЛ	8,0–0,5	2,0–4,0	–	–	1 040	7,5
БрА10ЖЗМц2	9,0–11,0	2,0–4,0	1,0–3,0	–	1 045	7,5
БрА10Ж4Н4Л	9,5–11,0	3,5–5,5	–	3,5–5,5	1 040	7,8
БрА11Ж6Н6Л	10–11,5	5,0–6,5	–	5,0–6,5	1 135	8,1
БрА9Ж4Н4МЦ	8,8–10,0	4,0–5,0	0,5–1,2	4,0–5,0	1 065	7,4
БрА7Мц1,5ЖЗН2Ц2	6,6–7,5	6,6–7,5	1,5–2,5	1,5–2,5	1 070	7,4

Примечания.

1. Медь – остальное.
2. В сплаве марки БрА7Мц1,5ЖЗН2Ц2 содержание цинка 1,5–2,5 %.
3. Температура заливки всех сплавов составляет 1 120–1 180 °С.

Наиболее широко применяют алюминиевые бронзы. Основным легирующим элементом в этих бронзах является алюминий. Алюминиевые бронзы при всех своих достоинствах имеют существенные недостатки: склонность к обратной ликвации; склонность к окислению и газопоглощению; трудность пайки твердыми и мягкими припоями.

Алюминий повышает жидкотекучесть, железо вызывает рассеянную пористость, марганец и никель увеличивают газонасыщенность и уменьшают жидкотекучесть.

Ранее промышленность изготавливала бронзу для художественных отливок из отходов металлов и сплавов. Она содержала, %: Zn – 5–7; Pb – 1–4 и до 1,5 примесей. Такой сплав обладает хорошими литейными свойствами, а отливки после обработки имеют «бронзовый вид». Механическая обработка бронзовых отливок не вызывает затруднений.

Маркировка бронз: «Бр» – начальные буквы слова «бронза», затем – начальные буквы содержащихся в сплаве легирующих элементов («О» – олово, «Ц» – цинк, «С» – свинец, «А» – алюминий, «Мц» – марганец, «Ж» – железо и т. д.). После буквы ставится цифра, показывающая среднее процентное содержание соответствующего элемента. Буква «Л» в конце маркировки означает, что эта бронза литейная.

Латуни (табл. 1.5) – дешевый материал, поэтому их широко используют для получения литых ювелирных и художественных изделий. Температура плавления в пределах 980–1 000 °С, литейные свойства хорошие, структура отливок получается плотной. Из латуни отливают ажурные отливки, вещи, имеющие сложные формы. Чистовая обработка отливок не вызывает затруднений.

Легирующие двойных латуней алюминием и кремнием повышает жидкотекучесть сплава, уменьшает угар цинка при плавке, повышает коррозионную стойкость и механические свойства.

Маркируются латуни буквой «Л» (означает латунь), далее начальные буквы содержащихся в сплаве легирующих элементов (как в маркировке бронз), после букв идут группы цифр через тире, соответственно означающих содержание каждого указанного элемента. Отсутствие цифры говорит о том, что содержание данного элемента порядка 1 %.

Таблица 1.5

Состав и свойства латуней

Марка	Химический состав, %				Температура плавления, °С	Плотность г/см ³
	Zn	Si	Pb	Другие		
ЛЦ17КЗ	15,0–19,0	2,5–4,5	–	–	900	8,3
ЛЦ40С	38,0–42,0	–	0,8–1,9	–	895	8,5
ЛЦ17КЗСЗ	15,0–19,0	2,5–4,5	2,0–4,0	–	900	8,6
ЛЦ30А2,5	28,0–32,0	–	–	2,0–3,0Al	905	8,5
ЛЦ38Мц2С2	36,0–40,0	–	1,5–2,5	1,5–3,5Mn	890	8,5

Наибольшее распространение для фасонных отливок находят кремнистая латунь ЛЦ40С. Важнейшим заменителем золота при изготовлении знаков отличия, фурнитуры и художественных изделий является

латунь ЛЦ15А0,5. Латунь ЛЦ10 отличается красивым золотистым цветом, хорошо эмалируется и золотится, применяется для изготовления художественных изделий. При изготовлении статуй используется латунь следующего состава, % (по массе): медь – 72–88; цинк – 10–25; олово – до 3; свинец – до 3.

Цвета (оттенки) латуней зависят от содержания цинка (табл. 1.6), но на открытом воздухе и от частой смены температур латунь теряет блеск, окисляется и чернеет, поэтому латунные изделия рекомендуется использовать в закрытых помещениях.

Таблица 1.6

Цвета (оттенки) медно-цинковых сплавов

Химический состав, %		Цвет сплава	Химический состав, %		Цвет сплава
Cu	Zn		Cu	Zn	
99	1	Красный	80	20	Красновато-желтый
95	5	Красный с желтым оттенком	75	25	Светло-желтый
92	8	Коричневато-красный	73	27	Желтый
86	14	Желто-красный	65	35	Ярко-желтый
84	16	Желто-красный	50	50	Золотисто-желтый

Сплавы меди с цинком, алюминием и другими элементами (в зависимости от их содержания в сплаве) также обладают широкой цветовой гаммой. Некоторые из них имитируют золотые ювелирные сплавы, позолоту, используются для литья и золочения (табл. 1.7, 1.8).

Таблица 1.7

Химический состав сплавов, имитирующих золото

Доля компонента, % (по массе)					Примечание
Cu	Zn	Al	Ni	Другие	
90	10	–	–	–	Цвет золота
77	23	–	–	–	Накладная позолота
66,7	33,3	–	–	–	То же
84,5	15	0,5	–	–	Заменитель позолоченной проволоки
88	10	–	2	–	То же
60	25	–	–	15	Цвет золота
75	–	25	–	–	То же
88	–	10	2	–	Для литья
91,6	0,4	–	6	1Mg, 1Pt	По цвету напоминает золото

Большой популярностью в качестве заменителя золота пользуется кремнистая латунь ЛЦ17КЗЛ. Отливки, полученные из этого сплава, имеют гладкую поверхность и красивый золотистый цвет.

Таблица 1.8

Химический состав медных сплавов для отливок, подлежащих золочению

Доля компонента, % (по массе)	Цвет сплава	Доля компонента, % (по массе)	Цвет сплава
0,5Sn	Красноватый оттенок цвета золота	13,5Zn	Золотой
17,0Sn; 25,0Zn	Золотисто-желтый	32,0Zn	То же
6,0Sn	То же	17,5Zn	То же
1,0Sn; 9,0Zn	Золотой	6,0Zn	Темно-золотой
8,0Zn; 2,0Pb	То же	11,0Zn	То же
40,0Zn; 2,0 Pb	Близок к цвету золота	28,0Zn	Золотой
10,0Zn	То же	36,3Zn	То же

Следует отметить, что большинство указанных сплавов обладают недостаточно высокими коррозионными свойствами, поэтому широкое использование сплавов недрагоценных металлов, имитирующих сплав ЗлСрМ583-80, возможно благодаря нанесению защитного лакового покрытия. В настоящее время лакокрасочной промышленностью освоен выпуск ряда органических лаков с хорошими защитными свойствами, прозрачностью и износостойкостью.

Золотоимитирующие сплавы на основе меди (табл. 1.7) в качестве основной легирующей добавки имеет цинк, а в некоторых случаях – алюминий. Добавки алюминия в малых количествах (до 0,3 % (по массе)) не приводят к образованию плен, но в то же время улучшают качество лицевой поверхности отливок.

Установлено, что легирование алюминием повышает коррозионную стойкость сплавов. Сплавы, указанные в табл. 1.7 и 1.8, можно использовать как в ювелирной промышленности, так и для изготовления кабинетных отливок, сувенирно-подарочных изделий.

Медно-никелевые сплавы – сплавы на основе меди, содержащие никель в качестве главного легирующего элемента. Имеют низкие литейные свойства при их высокой стоимости. Сплавы применяют в тех случаях, когда художественным отливкам пытаются придать вид серебряных изделий с чернением. Для художественных изделий рекомендуется использовать сплавы типа мельхиоров и нейзильберов (табл. 1.9).

Нейзильбер – сплав меди с никелем и цинком. При повышенном содержании никеля имеет красивый белый цвет с зеленоватым или синеватым отливом и высокую стойкость против коррозии. Считается декоративным сплавом, по внешнему виду напоминает серебро, обладает хорошей пластичностью, тягучестью, прочностью и упругостью, высокой коррозионной устойчивостью. Плотность 8,4–8,7 г/см³, температура плавления 1 050–1 110 °С.

Мельхиор – двухкомпонентный сплав на основе меди, содержащий до 30 % никеля, также считается декоративным сплавом, имитатором

серебра. Мягкий, пластичный, хорошо обрабатывается резанием и паяется. Плотность $8,9 \text{ г/см}^3$; температура плавления $1\ 170\text{ }^\circ\text{C}$. Сплав обладает высокой стойкостью против коррозии на воздухе и в воде, имеет приятный серебристый цвет, но дороже нейзильбера.

Таблица 1.9

Медно-никелевые сплавы для художественных отливок

Марка сплава	Химический состав, %			
	Cu	Zn	Ni + Co	Примеси, не более
Нейзильбер				
МНЦ15-20	Остальное	18–22	13,5–16,5	0,9
МН25	Остальное	–	24,0–26,0	1,3
МНЦ18-20	60–64	Остальное	17,0–19,0	0,6
Мельхиор				
МН19	Остальное	–	18,0–20,0	1,5
МНЦ12-24	62–66	Остальное	11,0–13,0	0,6
МНЦ18-27	53–56	Остальное	17,0–19,0	0,6

Добавление кремния к указанным в табл. 1.9 сплавам улучшает их литейные свойства. Температура плавления сплавов $1\ 080\text{--}1\ 180\text{ }^\circ\text{C}$. К медно-никелевым сплавам также относятся сплавы, имитирующие серебро (табл. 1.10).

Таблица 1.10

Химический состав сплавов, имитирующих серебро

Химический состав, %							Примечание
Cu	Ni	Zn	Al	Sn	Pb	Fe	
57	20	20	3	–	–	–	Серебристый цвет
59	11	24,5	0,15	5,0	0,35	–	Хороший заменитель серебра для ювелирной галантереи
55	16	29	–	–	–	–	Для литья
58	20	19	–	–	–	3	То же
66	18	16	–	–	–	–	Серебристый цвет
49	12	39	–	–	–	–	Применяется для чеканки
46	20	34	–	–	–	–	То же
65–67	13–19	33,5	–	–	–	0,5–3,2	Серебристый цвет
Нет	–	10	–	90	–	–	То же
Нет	–	8,3	–	91	0,4	0,3	Сусальное золото

Наряду со сплавами, указанными в табл. 1.10, используют также свинцовый нейзильбер марки МНЦ16-29-1,8. Сплав хорошо обрабатывается резанием, имеет высокую коррозионную стойкость, красивый серебристый цвет.

Цинковые сплавы. Их широко применяют для отливки небольших, главным образом плоских, художественных изделий (барельефов, медалей, знаков и т. п.), а также декоративных деталей различного назначения в бытовых машинах при крупносерийном или массовом производстве. Объемные художественные отливки изготавливают в кокилях методом намораживания с последующим выливом металла.

Цинковые сплавы подразделяются на две группы: ЦА с содержанием, %: Al – 3,5–4,5; Cu – до 3,7; Mg – 0,02–0,06; Zn – остальное; ЦАМ с содержанием, %: Al – 9–11; Cu – 1,0–5,5; Mg – 0,03–0,06; Zn – остальное. Температура заливки сплавов составляет 500 °С.

Все цинковые сплавы имеют хорошую жидкотекучесть, что позволяет получать из них отливки с чистой поверхностью и четким рисунком.

Алюминиевые сплавы. Художественные отливки из данных сплавов изготавливают практически всеми способами литья. Это объясняется хорошими литейными свойствами, сочетающимися с низкой температурой заливки (до 750 °С). Алюминиевые сплавы достаточно прочны, имеют малую плотность, хорошо обрабатываются. К отрицательным свойствам относится их склонность к окислению и насыщению водородом, что приводит к образованию газовой пористости. Алюминиевые сплавы делятся на группы и марки (табл. 1.11).

Таблица 1.11

Состав и свойства алюминиевых сплавов

Марки по группам	Химический состав, %					Температура плавления, °С	Плотность, г/см ³
	Mg	Si	Mn	Cu	Другие		
АЛ2	–	10–13	–	–	–	577	2,65
АЛ4	0,17–0,3	8,0–10,5	0,2–0,5	–	–	601	2,68
АЛ9	0,2–0,4	6–8	–	–	–	620	2,67
АЛ3	0,35–0,6	4,5–5,5	0,6–0,9	1,5–3,0	–	616	2,74
АЛ5	0,35–0,6	4,5–5,5	–	1,0–1,5	–	622	2,71
АЛ7	–	–	–	4–5	–	649	2,76
АЛ19	–	–	0,6–1,0	4,5–5,3	–	650	2,78
АЛ8	9,5–10,0	–	–	–	–	630	2,63
АЛ23	6–7	–	–	–	0,05–15Ti 0,02–1Be 0,05–0,2Zr	– –	–
АЛ1	1,25–1,75	–	–	3,75–4,50	1,75–2,25Ni	630	2,69
АЛ30	0,8–1,3	11–13	–	0,8–1,5	0,8–1,3Ni	–	2,70

Легкоплавкие сплавы. К ним относятся сплавы на основе олова и свинца. Они имеют хорошие литейные свойства. В последнее время из этих сплавов получают тонкостенные художественные отливки литьем

под давлением. Из легкоплавких сплавов можно отливать некоторые отливки даже в домашних условиях.

В этих случаях форму изготавливают из гипса. В табл. 1.12 приведены некоторые составы сплавов и температуры их плавления.

Таблица 1.12

Химический состав, %, и температура плавления, °С, легкоплавких сплавов

Bi	Cd	Pb	Sn	Температура плавления, °С	Bi	Cd	Pb	Sn	Температура плавления, °С
50,0	12,5	25,0	12,5	68	25,0	—	30	25,0	149
35,3	9,5	35,1	20,1	80	10,5	—	42	47,5	160
51,6	8,1	40,3	—	91	12,8	—	49	38,2	172
40,0	—	20,0	40,0	100	12,5	—	50	37,5	178
30,8	—	38,4	30,8	130	—	—	11	89,0	198

Сплавы для литья колоколов. Основными требованиями, предъявляемыми к металлу для колоколов, являются наилучшее возбуждение, излучение всех частот, возникающих при ударе, и большая длительность звучания. Соответствующий этим требованиям сплав должен иметь высокую упругость, низкое затухание звука, высокую плотность и минимальную пористость. Этим требованиям в полной мере отвечают некоторые виды бронз и чугунов.

На звучании колокола плохо сказываются примеси, которые резко снижают акустические характеристики бронзы. Содержание примесей не должно превышать 2 %, а в особых ответственных случаях – 1 %. Примеси алюминия, висмута, мышьяка дают о себе знать, даже если их содержание исчисляется в сотых долях процента.

Звучание колокольной бронзы определяется содержанием интерметаллидной фазы $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_g$: чем выше ее доля в сплаве, тем чище, звонче, мелодичнее звук. Однако эта фаза обладает исключительной хрупкостью. При 32%-ном содержании олова колокол не выдержал бы и одного удара. Сплав с 22%-ным содержанием олова находится на границе области допустимой хрупкости.

Наилучшим колокольным сплавом является двухкомпонентная бронза, содержащая 20–22 % олова и не более 1–2 % примесей. Так, в старину сплав из 78 % чистой меди и 22,5 % олова называли *колокольной медью*.

Ювелирные сплавы. Драгоценные, или благородные, металлы – это металлы, обладающие высокой коррозионной стойкостью. В эту группу входят: золото, серебро, платина, палладий, родий, рутений, иридий и осмий. Наиболее часто в художественных ювелирных изделиях используют серебро, золото, платину и палладий в виде сплавов друг с другом, а также с медью, никелем и цинком.

Золото – химический элемент (Au), металл, атомный вес – 196,97. Золото кристаллизуется в кубической сингонии с гранецентрированной кристаллической решеткой (ГЦК). Встречается в виде самородков, октаэдрических кристаллов, дендритовых и скелетообразных агрегатов, по форме напоминающих листочки.

Золото было первым металлом, найденным и использованным человеком в самородном виде, так как золото очень мягкий металл, его было легко обрабатывать простыми механическими воздействиями. Этот металл присутствует почти повсеместно: в земной коре, в морях и реках, в растениях и животных, – но добыть его очень сложно и затратно, поэтому золото считается одним из самых дорогих металлов на земле.

Физические свойства: твердость по Бринеллю составляет 18,5, по Моосу – 2,5–3,0, плотность 19,32 г/см³, спайность отсутствует, излом крючковатый, температура плавления 1 063 °С, температура кипения 2 970 °С.

Золото имеет хорошую тепло- и электропроводность, отличается вязкостью и мягкостью. Так, из одного грамма золота можно получить тонкую проволоку длиной 9,5 км, а его высокая пластичность позволяет сделать лист толщиной 0,0001 мм, такие пластины называются *сусальным золотом*.

Этот металл обладает высокой устойчивостью к химическим воздействиям, он не взаимодействует с кислотами, устойчив к атмосферным влияниям, пресной и морской воде. Растворить золото можно только в царской водке – смеси соляной и азотной кислот, а также в ртути, растворах цианистых щелочей, хромной и бромной воде.

Оптические свойства: цвет – желтый, золотисто-желтый; блеск – металлический, значительно увеличивается после полировки; золото имеет высокую отражательную способность.

Месторождения золота могут быть *коренными* – первичными и *россыпными* – вторичными. Первичные месторождения золота образуются в результате гидротермальных процессов в рудных жилах, а также в контактово-метаморфических залежах и пегматитах. Россыпные месторождения находятся в основном по берегам рек совместно с пиритом, кварцем и другими минералами.

Золото встречается в России, Австралии, ЮАР, США, Венесуэле, Великобритании.

Основную массу золота добывают из рудных залежей. Полученную руду обогащают двумя способами: цианированием и амальгированием.

Цианирование было изобретено в 1843 г. П. Р. Багратионом. Процесс представляет собой обработку золотосодержащих руд цианистыми растворами, в результате чего образуются золотосодержащие растворы, которые

отфильтровывают, удаляют примеси, промывают, выпаривают и полученное золото сплавляют в слитки.

Амальгирование заключается в пропускании золотой руды вместе с водой по амальгмированной поверхности ртути, в итоге частицы золота образуют полужидкую *амальгаму* – сплав с ртутью, затем из нее выпаривают ртуть, а оставшееся золото сплавляют в слитки. Полученные этими способами слитки подвергают *аффинажу* (очищению) для производства чистого золота.

Золото используется в ювелирной промышленности, электронике, медицине.

Серебро – химический элемент (Ag), металл, атомный вес – 107,8. Кристаллизуется в кубической сингонии с гранецентрированной кристаллической решеткой. Серебро встречается в виде кубических кристаллов, дендритовых агрегатов, проволоки, листов и слоистых масс.

Самородное серебро встречается в природе реже, чем золото, поэтому было открыто человеком гораздо позже.

Физические свойства: твердость по Бринеллю – 16,7; по Моосу – 2,5–3,0, плотность 10,5 г/см³, спайность отсутствует, излом крючковатый, температура плавления 960 °С, температура кипения 2 210 °С.

Серебро обладает самой высокой из всех металлов электро- и теплопроводностью. Серебро отличается пластичностью: из одного грамма можно получить лист толщиной 0,00025 мм.

Данный металл химически инертен, он не растворяется в царской водке, плавиковой и соляной кислоте, не подвержен воздействию атмосферы. Серебро можно растворить концентрированными серной и азотной кислотами. Серебро окисляется под воздействием озона и сероводорода, образуя черный налет. Серебро образует амальгаму с ртутью. Обладает антисептическими свойствами. Оптические свойства: цвет – белый, серебристо-белый, тускнеет от серого до черного; блеск – металлический; обладает высокой отражательной способностью, которая может достигать 95 %.

Серебро, как и золото, может находиться в коренных и россыпных месторождениях. Коренные месторождения образуются гидротермальным путем в рудных жилах.

Серебро встречается в Норвегии, Германии, Чехии, Казахстане, Мексике, США, Перу.

Серебро в основном добывается из руды, которая содержит до 80 % этого металла. Серебро, как и золото, получают цианированием и амальгмированием, а затем подвергают аффинажу.

Серебро применяется в ювелирной промышленности, в электро-технике, химической промышленности, электронике, фотографии, при производстве зеркал, а также как защитное и декоративное гальваническое покрытие.

Платина – химический элемент (Pt), блестящий тугоплавкий серебристо-белый металл, атомный вес – 195,23.

Платина легко поддается обработке давлением: ковке, прокатке, волочению. Изделия из платины не изнашиваются, так как она тверже и устойчивее к механическим воздействиям, чем золото и серебро. Поэтому для изготовления ювелирных украшений может использоваться практически чистая платина, в то время как в золотые и серебряные сплавы для придания прочности добавляется значительное количество легирующих материалов. Изделия из платины немного тяжелее золотых и более чем в два раза тяжелее серебряных изделий такого же объема.

Платина и платиноиды – самые дорогие металлы на Земле. Из этой группы чаще всего встречаются платина и палладий, реже – осмий, родий, рутений и иридий.

Все платиновые металлы светло-серые и тугоплавкие, платина и палладий пластичны, осмий и рутений хрупкие. Красивый внешний вид благородных металлов обусловлен их инертностью.

Все платиновые металлы химически довольно инертны, особенно платина. Они растворяются лишь в царской водке с образованием хлоридных комплексов. При окислении металлов кислородом воздуха образуются оксиды. При нагревании все платиновые металлы реагируют с хлором и фтором.

В растворах платиновые металлы существуют только в виде комплексных соединений. Соединения платины используют в медицине в качестве препаратов, обладающих противоопухолевой активностью.

Содержание платиновых металлов в земной коре (*кларк*): платина – 8–10 %; палладий – 9–10 %; остальные платиновые металлы – 10–11 %.

В России почти вся добыча металлов платиновой группы сосредоточена в разработке лицензионных участков ГМК «Норильский никель» (15 % мирового производства платины и 55 % производства палладия). На металлы платиновой группы в окрестностях Норильска разрабатываются Октябрьское, Талнахское и Норильск-1 сульфидно-медно-никелевые месторождения (более 99 % разведанных и более 94 % оцененных российских запасов). Кроме того, крупными являются: сульфидно-медно-никелевое месторождение Фёдорова тундра (участок Большой Ихтегипакх) в Мурманской области, а также россыпи Кондёр в Хабаровском крае, месторождение Левтыриновская в Камчатский край, река Лобва и месторождение Выйско-Исовское в Свердловской области.

Когда платину стали завозить в Европу, ее цена была вдвое ниже серебра. Ювелиры очень быстро обнаружили, что платина хорошо сплавляется с золотом, а так как плотность платины выше, чем у золота, то незначительные добавки золота позволили изготавливать подделки, которые невозможно было отличить от золотых изделий. Такого рода подделки

получили столь широкое распространение, что испанский король приказал прекратить ввоз платины, а оставшиеся запасы утопить в море. Однако после отмены этого закона в 1778 г. платина постепенно завоевывала популярность в ювелирной промышленности. В настоящее время практически все металлы платиновой группы тем или иным образом применяются при изготовлении ювелирных украшений.

Сплавы иридия с осмием, а также золота с платиной и палладием используют для изготовления компасных игл, напаяек «вечных» перьев.

Высокие каталитические свойства некоторых металлов платиновой группы позволяют применять их в качестве катализаторов, например, платину используют при производстве серной и азотной кислот.

В некоторых странах металлы платиновой группы используются в медицине, в том числе и в качестве небольших добавок к лекарственным препаратам.

Сравнение свойств драгоценных металлов дано в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Свойства драгоценных металлов

Металл	Плотность, г/см ³	Твердость по шкале Мооса	Температура плавления, °C	Удельное электрическое сопротивление при 20 °C, Ом·мм ² /м	Свойства, характеризующие возможность обработки
Золото	19,27	2,5	1 063	0,023	Очень ковкий и пластичный
Серебро	10,50	2,7	961	0,015	Очень ковкий и пластичный, но менее, чем золото
Платина	21,45	4,3	1 769	0,107	Ковкий и пластичный
Палладий	12,02	4,8	1 552	0,103	Ковкий и пластичный, но менее, чем платина
Иридий	22,65	6,5	2 443	0,047	Ломкий
Осмий	22,61	7,0	3 045	0,095 (0 °C)	То же
Рутений	12,45	6,5	2 310	0,071–0,076 (0 °C)	То же, ковкий в раскаленном состоянии
Родий	12,41	6,0	1 960	0,047 (0 °C)	То же

Сплавы на основе золота. Золото используется в виде сплавов, так как в чистом виде оно слишком мягкое, малопрочное и имеет не очень привлекательный красный цвет. Для изготовления ювелирных изделий применяют сплав чистого золота с различными легирующими добавками, которые улучшают физические свойства металла и позволяют придать ему желаемый цвет.

В качестве легирующих добавок (лигатур) применяются серебро, медь, кадмий, цинк, платина, палладий, никель и другие (табл. 1.14). Каждый компонент придает сплаву определенные свойства.

Таблица 1.14

Сплавы золота

Марка	Содержание, %			
	золота	серебра	меди	примесей
ЗлСрМ 750-150	75,0	14,5	10,34	0,16
ЗлСрМ 583-80	58,3	8,5	33,90	0,17
ЗлСрМ 375-20	37,5	20,5	41,84	0,16

Основной легирующей добавкой в золотых сплавах является медь. Она повышает твердость сплава, но при этом ухудшает его антикоррозийные свойства. Медь позволяет значительно разнообразить цветовую гамму изделий различными оттенками красного цвета. По мере увеличения процентного содержания меди (до 15 %) сплав приобретает ярко-красный цвет. При большом содержании меди поверхность сплава обычно темнеет.

Серебро делает сплав золота более пластичным, ковким и изменяет его цвет. По мере добавления серебра насыщенный желтый цвет золота переходит в желто-зеленый цвет сплава, при добавлении 30 % серебра сплав приобретет светло-зеленый оттенок, а при увеличении количества серебра до 65 % становится практически белым. Серебро понижает температуру плавления, что значительно облегчает процесс обработки металла.

Сплавы золота с медью и серебром хорошо поддаются ковке и прокатке. Эти сплавы тверже чистого золота, но плавятся легче его.

Платина повышает упругость сплава золота при резком увеличении температуры его плавления, придает золотому сплаву белый цвет. Желтизна пропадает, как только содержание платины в сплаве достигает 8,4 %.

Палладий применяется главным образом для повышения температуры плавления. Также он придает сплаву пластичность. Добавление в сплав палладия более 10 % окрашивает его в белый цвет с легким бежевым (телесным) оттенком.

Никель улучшает литейные свойства золотого сплава, придает ему пластичность и твердость, но при большом содержании никеля у сплава появляются магнитные свойства. Такие сплавы имеют бледно-желтый цвет.

Никель, платина и палладий придают сплавам золота высокие антикоррозийные свойства.

Кадмий снижает температуру плавления сплава золота, увеличивает его пластичность и придает ему слегка зеленоватый оттенок. Полученный сплав обычно используют в качестве припоя.

Цинк делает сплав золота более твердым, хрупким, повышает текучесть и понижает температуру плавления. Цинк охрупчивает сплав, если

его содержание превышает 0,3 %. Цинк осветляет сплав, поэтому он может быть использован в качестве компонента белого золота.

Рутений повышает твердость, износостойкость и температуру плавления. Цвет сплава при этом не меняется.

Иридий интенсивнее, чем рутений, повышает твердость и износостойкость, также не меняя цвет сплава.

Осмий повышает температуру плавления, твердость и упругость сплава. Он тоже не меняет его цвет.

Алюминий обеспечивает пластичность, ковкость, отражательную способность сплава золота, повышает его коррозионную стойкость. Соединение (интерметаллическое) «золото – алюминий» имеет пурпурно-фиолетовый цвет и называется *фиолетовым золотом*.

Соединение (интерметаллическое) «золото – рубидий» имеет темно-зеленый цвет и называется *черным золотом*.

Соединение (интерметаллическое) «золото – индий» имеет голубую окраску и называется *голубым золотом*.

Все интерметаллические соединения очень хрупкие.

Содержание золота в сплаве выражается *пробой*. Номер пробы указывает, сколько массовых частей золота содержится в тысяче массовых частей сплава. Проба золота обозначается в метрической, каратной и золотниковой системах (табл. 1.15). В метрической системе содержание золота обозначается числом частей по массе в 1 000 частей, т. е. золото пробы 583 содержит 58,3 % золота. Каратная система основана за счет плодов карабы, которые использовались в древности для взвешивания. По этой системе чистое золото соответствует 24 каратам. Золотниковая система существовала в России до 1927 г., она основывалась на русском футе, содержащем 96 золотников. Чистое золото соответствует 96 золотникам.

Таблица 1.15

Соотношение проб золота различных систем

Система	Проба			
Метрическая	958	750	583	375
Золотниковая	92	72	56	36
Каратная	24	18	14	9

На сегодняшний день основными золотыми сплавами являются сплавы 958-й, 750-й, 585-й и 500-й проб. Кроме того, сплавы золота подразделяются по цвету и другим свойствам.

Для художественных отливок используют девять марок сплавов из 38, из них: пять марок – сплавы с серебром и медью (серебро 7,5–30,0 %, медь 9,5–34,5 %, один сплав с серебром (злото 58,3 %, серебро 41,7 %), три

сплава с медью (медь 8,1–13,0 %, остальное – золото). Плотность сплавов зависит от марок сплава и составляет 14,3–17,59 г/см³. Температура плавления 847–1 027 °С.

Таким образом, химический состав золотых сплавов влияет на их оттенки. В зависимости от содержания легирующих элементов цвет сплава может иметь разные оттенки – от бледно-желтого до красно-желтого и даже зеленоватого. Даже сплавы одной и той же пробы могут различаться по цвету или оттенку. Наиболее широка цветовая гамма сплавов 583-й и 750-й проб, поэтому часто используются такие названия, как «белое», «красное», «червонное» и т. п. золото, которые, однако, нельзя рассматривать как научные термины.

Сплавы на основе серебра. Состав и основные физические свойства ювелирных сплавов серебра приведены в табл. 1.16, 1.17.

Таблица 1.16

Серебряно-медные сплавы

Марка	Состав, %			Плотность, г/см ³	Температура плавления, °С
	Ag	Cu	Примеси		
СрМ 800	80,0–80,5	Остальное	0,15	10,13	779–810
СрМ 830	83,0–83,5		0,15	10,19	779–830
СрМ 875	87,5–88,0		0,12	10,28	779–855
СрМ 900	90		–	10,30	779–890
СрМ 925	92,5–93,0		0,12	10,36	779–896
СрМ 960	96,0–96,5		0,10	10,43	880–930

Таблица 1.17

Серебряно-платиновые сплавы

Марка	Состав, %		
	Ag	Pt	Примеси
СрПл-4	96,4	3,42	0,18
СрПл-12	88,4	11,42	0,18

В сплавах серебра (Ср) с медью (М) цифры указывают пробу – среднюю массу серебра – граммы в 1 кг сплава. Добавки меди позволяют в значительной степени улучшить технологические и эксплуатационные свойства металла. Сплавы серебра обладают большой химической стойкостью, высокой отражательной способностью, что немаловажно для декоративных целей.

Сплав СрМ 960 очень схож с чистым серебром, устойчив к потускнению, обладает высокой температурой плавления, благодаря чему может применяться для изготовления изделий с эмалью (прозрачные краски просвечиваются более интенсивно). Подходит дляковки, глубокой вытяжки

и исполнения тонких филигранных работ. Учитывая склонность металла к старению, после отжига его подвергают закалке. Недостаток сплава заключается в невысоких механических свойствах: изделия, изготовленные из этого сплава, при эксплуатации деформируются.

Сплав СрМ 925 широко применяется для изготовления ювелирных украшений. Цвет и коррозионная стойкость аналогичны чистому серебру. Иногда именуется стандартным серебром. Сплав обладает высокими механическими свойствами, хорошими способностями к формообразованию при обработке и стабильностью при эксплуатации. Чтобы предотвратить старение, сплав после отжига подвергают закалке.

Сплав СрМ 875 находит наибольшее применение в промышленном изготовлении ювелирных изделий. Можно использовать литье, гибку, пайку, ковку, чеканку. Но для глубокой чеканки, а также для тонких филигранных операций не подходит из-за высокой твердости, плохо поддается механической обработке. В качестве основы для нанесения эмали непригоден.

Для литья используют главным образом четыре марки: СрМ 925, СрМ 916, СрМ 900 и СрМ 875.

Сплавы на основе платины. Платиновые сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью, плотность сплавов 16 640–21 730 кг/м³, температура плавления около 1 750 °С. Существует 27 марок платины и платиновых сплавов. Три марки содержат не менее 99,8 % платины, остальные – иридий, родий, палладий, рутений, медь, никель. Добавки не влияют на цвет сплава, и он остается характерным для платины.

Медь применяется для понижения температуры плавления, вместе с тем повышает твердость и прочность, однако сплав платины с медью имеет склонность к порообразованию, что является весьма негативным фактором для ювелирного литья.

Иридий повышает температуру плавления и твердость, придает сплаву износостойкость.

Кобальт улучшает литейные свойства платиновых сплавов и обеспечивает хорошие механические характеристики.

Палладий позволяет получать сплавы для изготовления закрепочных деталей.

В России стандартизованы и производятся лишь ювелирные платиновые сплавы не выше 950-й пробы. В ювелирной промышленности применяют только два основных сплава на основе платины – с 5%-ным содержанием меди и с таким же содержанием иридия. 5 % меди в платине понижают температуру плавления, сохраняя мягкость, пластичность и тягучесть сплава. 5 % иридия в платине повышают температуру плавления, кислотостойкость и твердость сплава. Этот сплав лучше полируется.