



И.Х. Халилов М.И. Халилов

Ювелирное литье

И.Х. ХАЛИЛОВ,
доктор физико-математических наук,
профессор

М.И. ХАЛИЛОВ,
аспирант художественно-графического
факультета ДГПУ

ЮВЕЛИРНОЕ ЛИТЬЕ

МАХАЧКАЛА 2000

Предисловие

Ювелирное литье - один из самых древних и наиболее распространенных видов обработки металлов и сплавов. В настоящее время появление новых технологий литья по выплавляемым моделям, новых материалов и литейных установок, позволяют облегчить труд ювелиров-литейщиков, удешевить производимые ими ювелирные изделия, а также тиражировать и наладить массовый выпуск ювелирных изделий.

В последнее время, в связи с рыночными преобразованиями в нашей стране, вырос спрос на ювелирные изделия, и появилась также возможность большому числу людей заниматься индивидуальной трудовой деятельностью. Но при этом отсутствие современной технической литературы, освещающей вопросы литья ювелирных изделий, является тормозом развития ювелирного литья в России.

В данной книге авторы на основе анализа современных работ отечественных и зарубежных ученых и специалистов и на основе собственного практического опыта, постарались подробно описать технологию литья по выплавляемым моделям, начиная от подготовки эскиза (рисунка) мастер-модели и кончая готовыми к продаже изделиями из золота и серебра.

Авторы книги постарались дать разносторонние сведения не только по технологии литья, но и по физико-механическим, литейным и термодинамическим свойствам благородных металлов, и по современным литейным оборудованьям и вспомогательным материалам.

Книга написано с целью оказания помощи начинающим ювелирам-литейщикам, а также для использования в качестве учебного пособия при подготовке молодых специалистов, специализирующихся в области ювелирного литья.

ВВЕДЕНИЕ

Художественные изделия, орудия труда и предметы быта, найденные при раскопках, свидетельствуют о том, что первобытный человек познакомился с металлом несколько тысяч лет тому назад. Металлы, с которыми начал знакомится первобытный человек, были золото и медь, встречавшиеся на земле в самородном состоянии. Золото и медь из-за своей мягкости принимали необходимую форму при обработке методом литья и холодной деформации.

Археологические исследования показали, что народности, населявшие территорию Анталии, Ирана, Месопотамии обрабатывали медь, найденную в самородном виде, еще в XIV в. до н. э. Кавказским народам медь была известна даже раньше золота, за 3 тыс. лет до н. э.

Металлургия и технология обработки и получения бронзы путем плавления меди и олова были известны в Древнем Египте, Ассирии и Вавилоне в 3-ем тысячелетии до н.э. **Литье по выплавляемым моделям** сплавов золота египтяне применяли за 2,5 тысячи лет до н. э.

Согласно археологическим данным производство металлических изделий в Дагестане было налажено еще в эпоху бронзы (в конце первого тысячелетия до н.э.). В частности, характерные только для Дагестана, подковообразной формы браслеты и, найденные в Дербенте и в ауле Кубачи, бронзовые котлы и топоры, с сильно расширяющимся округлыми лезвиями и цилиндрической выпуклой на обухе, не без основания считаются предметами местного изготовления.

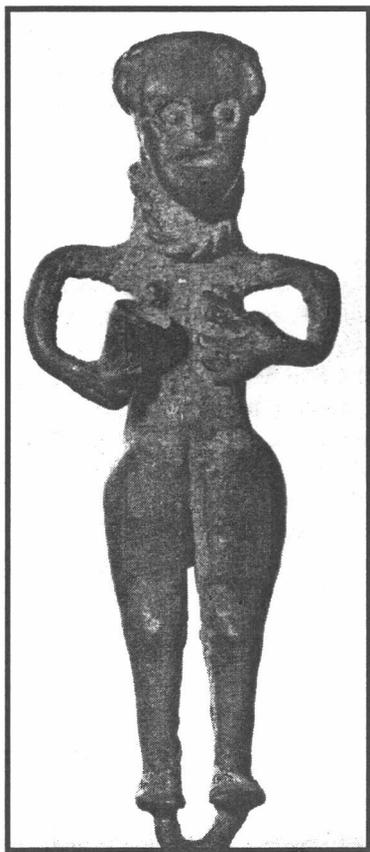


Рис 1. Литая бронзовая фигурка, найденная при раскопках в Дагестане.

Изучение материала Бежтинского (Дагестан) могильника показывает, что ремесленники того времени были знакомы с такими сложными приемами обработки металла, какковка (в том числе и фигурная), паяние, волочение, лужение, чеканка, инкрустация и художественное литье.

Применяя разнообразный кузнечно-литейный инвентарь, бежтинские мастера прибегали к штампам и устойчивым литейным формам для налаживания массового выпуска изделий.

Кубачинские литые бронзовые котлы и по сей день, считаются образцами высочайшего уровня мастерства техники литья. Литые бронзовые котлы на трех ножках, украшенные бортиком, и с вертикально стоящими ручками, напоминают скифские котлы. Некоторые из них отлиты еще в XII-XIII веках.



Рис 2. Ритуальный котел. Бронза, литье. Кубачи. XVI в.

Вот что писал об этом селении в 1718 году русский путешественник А.И. Лопухин: «Жители в нем все люди мастеровые и торговые, ни с кем ссоры не имеют, и они никого не слушают, живут сами собой, а управителей из своей братьи имеют погодно. Ремесло у них такое - делают много хорошего оружия мелкого, также сказывают и пушки льют».

Кубачинские мастера для выплавки металла использовали керамические тигли, которые помещали в каменные формы и обкладывали древесными углями. С помощью трубок с керамическими наконечниками вдували воздух, чтобы повысить температуру горения углей. Жидкий металл разливали в керамические или песчаные формы - в этом состояла простейшая форма литья.

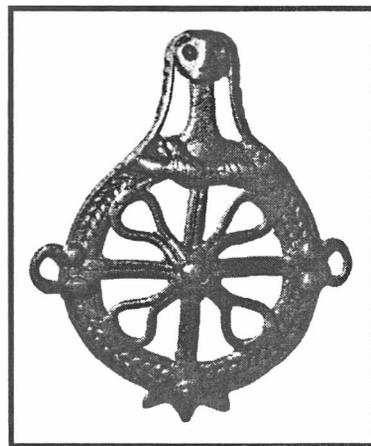


Рис 3. Пряжка пояса. Бронза литые II-I тыс. лет до н.э.



Ювелирная обработка серебра возникла в Дагестане в эпоху средневековья. Наиболее старинные из сохранившихся вещей показывают их тесную связь с художественной традицией бронзового литья. Серьги, браслеты, пуговицы и оружия носили изображения птиц, коней, человека и включали в себе все виды художественной обработки серебра: литье, чеканку, зернь, накладную и ажурную филигрань, насечку на стали, гравировку и чернь.

Золото с древнейших времен служило материалом для драгоценных поделок и украшений. Из золота изготавливали чаши, кувшины, вазы и др. изделия. Известно, что золото очень мягкий металл, легко поддающееся расплющиванию в тончайшие пластинки и листочки. Но этого далеко не достаточно, чтобы изготовить, например, кувшин - его нужно отлить в форме.

Нельзя не восхищаться искусством литейщиков древности. Ацтекские мастера отливали из золота птиц с двигающимся языком, головой и крыльями или обезьянок с подвижными конечностями и головой. Отливки, изображающие рыб, имели чешуйки из золота и серебра на одном и том же изделии.

Все эти уникальные изделия были безжалостно переплавлены в слитки, колонизаторами из Европы. Кое-что все же сохранилось и является гордостью музеев мира, в том числе и Эрмитажа в Санкт-Петербурге.

Как ацтекские мастера отливали такие дивные изделия, можно судить по описаниям, которые дошли до нашего времени. Они лепили модель из глины, покрывали ее слоем воска, после чего накладывали на нее еще один слой глины. Такие формы обжигались, и воск выплавлялся из них, образуя полости, в точности воспроизводящие модель. Это метод, к которому снова пришли лишь в двадцатом столетии.

Отливка после ее освобождения от формы шлифовалась, а для придания ей блеска погружалась в ванну из квасцов. Все требовало очень большого умения и навыка, знания строгих температурных режимов, за которыми следили только глазом, без всяких приборов. Необходимо было также уметь подбирать нужные сорта глины и песка для изготовления моделей и форм.

Замечательные произведения искусства из золота оставлены нам не только ацтеками, но и египтяна-

ми, вавилонянами, скифами, индусами и многими другими народами.

В X-XI вв. н.э. на территории России и Украины были найдены бронзовые, медные и золотые изделия, свидетельствующие об освоённой технике литья по восковым моделям.

В русском литейном искусстве особое место занимает литье колоколов. Нигде в мире колокола не достигали такого совершенства как в России. Уникальным памятником литейного искусства в России XVI века являются Царь-пушка, отлитая мастером А. Чоховым в 1586 году, ее масса 2400 пудов (40 тонн) и Царь-колокол, отлитый в 30 годах XVIII века московскими мастерами отцом и сыном Моториными. Вес колокола 16000 пудов (256 тонн), высота 6,14 метров, диаметр 6,60 метров.

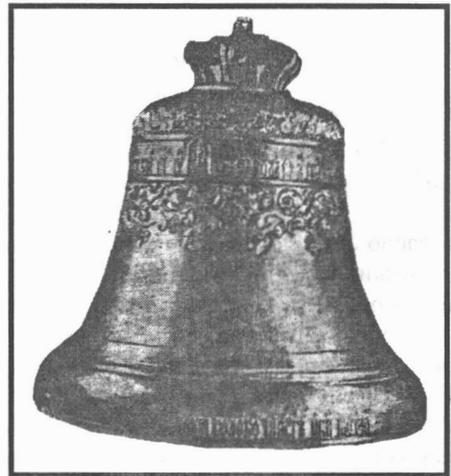


Рис 4. Колокол Печерской лавры (И. Моторин)

В 1700 году, во время войны со шведами по приказу Петра I, было отлито много разных пушек из колоколов московских церквей и монастырей. Для литья пушек применялась так называемая пушечная бронза. Она содержала 10-14% олова и обладала высокой прочностью, твердостью и хорошим сопротивлением стиранию.

В России в XVI-XVII вв., для получения качественных и точных отливок, литейщики использовали литье в металлические формы с использованием сил гравитационного поля земного притяжения - кокильное литье. Оно стало известно как русский способ изготовления чугунных пушечных ядер.

Кокильное литье используется и в настоящее время как один из прогрессивных способов изготовления отливок. В кокилях можно отливать детали любых размеров практически из всех известных литейных сплавов.

Литье статуй из бронзы берет также начало с эпохи Петра I. Реформа Петра I, которая привела к изменению социального уклада жизни, новые представления о костюмах и украшениях, новое отношение к предметам быта, привело к появлению ювелирных изделий из драгоценных металлов с драгоценными камнями.

Ювелирные изделия эпохи Петра I свидетельствуют о высокой технике ювелирного дела в России. В это время появилось много интересных работ по эма-

ли, как, например, миниатюрные портреты на эмали Петра I, Екатерины I, Меншикова и др., предметы дамского туалета, украшенные эмалью, миниатюрами, драгоценными камнями. В этих изделиях отдельные детали выполнялись в технике литья и чеканки, а затем, собранные изделия украшались живописной эмалью и драгоценными камнями.

Новый расцвет становления русского ювелирного дела относится к 70-м годам XIX века. В итоге экономических и политических реформ Александра II предприниматели получили значительную свободу. Мастера фирм Фаберже, Хлебникова, Овчиникова, Гана создавали сувенирные изделия, предметы для придворных церквей, для Храма Христа-Спасителя в Москве. В своих работах русские ювелиры широко использовали приемы литья, чеканки, гильошировки, применяли оконные и глухие эмали, а также опалесцирующие эмали. Они часто обращались к формам старинной национальной утвари.

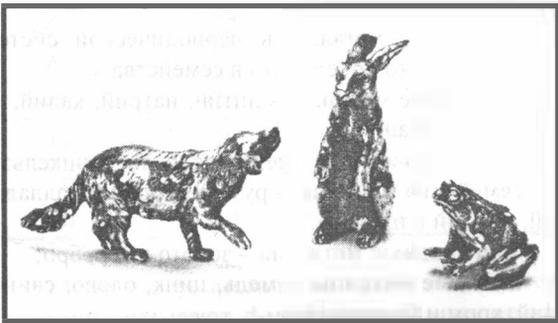


Рис. 5. Фигурки собаки, зайца и лягушки фирмы братьев Грачевых 1908-1917 гг.

Большим успехом пользовались скульптурные произведения фирмы Фаберже, отлитые на фирме Грачевых. Сохранившиеся скульптурные произведения свидетельствуют о высоком мастерстве литейщиков, монтировщиков и модельеров, которые смогли виртуозно передать позы и движения животных.



Рис. 6. Пепельница с фигуркой зайца XIX в.

К разряду экономических и политических факторов, способствовавших расцвету ювелирного дела в России, можно отнести также и официальную идеологию предпочтения всего национального.

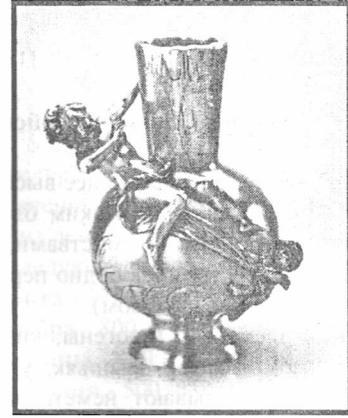


Рис. 7. Ваза. Серебро, литье, чеканка 1908-1916 гг.

В совершенстве литье по выплавляемым моделям было разработано за рубежом в 50-х годах XX века. Характерными особенностями этого метода литья является использование разработанных в то время специальных формовочных масс на основе кристоболита с гипсом, а также специальных резин и синтетических восков.

В СССР освоение метода литья по выплавленным моделям сплавов золота и серебра началось в 1968 году после закупки оборудования фирм ФРГ и Италии.

Появление технологии более высокопроизводительного метода литья, инструментов и установок для литья позволило удешевить производимые ювелирные изделия и дало возможность создания поточных линий на ювелирных заводах и фабриках.

В производстве ювелирных изделий можно выделить четыре направления: ручное, точное литье, штамповка и станочное.

Точное литье по выплавленным моделям - это наиболее производительный способ тиражирования ювелирных изделий. Применение литья позволяет получить любое количество качественных копий. Себестоимость изделий, выполненных методом литья, значительно ниже, чем изделий, выполненных ручным или иным методом.

Рыночные преобразования, которые произошли в России за последние годы, создали условия для организации малых и средних фирм, занимающихся выпуском и реализацией ювелирных изделий. Увеличение производительности труда, снижение себестоимости, стабильное качество, способность быстро реагировать на изменение рыночной ситуации - вот что обеспечивает им максимальную конкурентоспособность. Именно это и приводит к необходимости механизации ювелирного производства - от ручной сборки из серийных элементов до тиража, выполняемого методом литья по выплавляемым моделям. Кроме того, возникает необходимость специализации технологических процессов изготовления ювелирных изделий и, как дальнейший шаг, в специализации оснащения рабочих мест.

В настоящее время основным производителем ювелирных изделий из драгоценных металлов с использованием литья по выплавляемым моделям являются Италия, США, ФРГ, Франция, Турция и Россия.

Глава 1. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

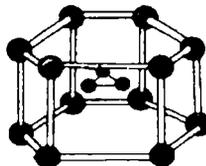
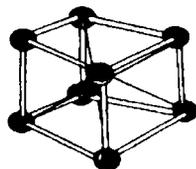
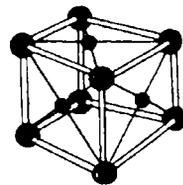
1.1. Металлы и их свойства

Металл - это тело, обладающее высокой тепло- и электропроводностью, специфическим блеском, обычно пластичностью и другими свойствами, обусловленными большим количеством свободно перемещающихся электронов (электронным газом).

Инертные элементы, галогены, кислород, серу, селен, теллур, азот, фосфор, мышьяк, углерод, кремний, бор и водород называют неметаллами. Все остальные элементы периодической системы Д.И. Менделеева (таблица 1.1) называются металлами. Из известных на 1999 г 106-ти элементов 83 – металлы. Они встречаются в связанном или свободном виде в земной коре и воде океанов (таблица 1.2).

Металлы имеют кристаллическое строение решетки. Атомы, образующие кристаллическую решетку, располагаются в виде геометрических фигур и образуют элементарные кристаллические ячейки. Простейшим видом кристаллической ячейки является кубическая решетка. При переходе металла из жидкого состояния в твердое, происходит процесс кристаллизации. Атомы металлов стремятся занять места наиболее близкие друг к другу, что приводит к образованию различных типов кристаллических решеток: кубически гранецентрированной, кубически объемноцентрированной и гексагональной плотноупакованной решетки.

Многие металлы в зависимости от температуры и давления могут существовать в виде нескольких кристаллических модификаций.



Гранецентрированная решетка. Такое строение имеют алюминий, медь, золото, серебро, никель, железо, палладий и платина

Объемноцентрированная решетка. Такое строение имеют хром, литий, молибден и ванадий.

Гексагональная плотноупакованная решетка. Такое строение имеют цинк, титан, кадмий, кобальт и бериллий.

Некоторые металлы в периодической системе элементов принято объединять в семейства:

щелочные металлы - литий, натрий, калий, рубидий, цезий, франций;

семейство железа - железо, кобальт и никель;

семейство платины - рутений, родий, палладий, осмий, иридий и платина;

благородные металлы – золото и серебро;

цветные металлы – медь, цинк, олово, свинец, кадмий, хром и алюминий.

К благородным относятся также металлы платиновой группы.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Таблица 1.1

П	Ia		IIa												IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
7	Fr	Ra	Ac	Ku																

Обозначение элемента: $\begin{matrix} \text{Li} \\ 3 \\ 6,941 \end{matrix}$

Атомный номер

Атомная масса

Целое число в скобках – массовое число наиболее устойчивого изотопа

**Распространение некоторых металлов
в земной коре и воде океанов**

Таблица 1.2

Порядковый номер элемента	Символ элемента	Массовая доля, %	
		В земной коре	В воде океанов
13	Al	8,05	1×10^{-6}
22	Ti	0,45	1×10^{-7}
26	Fe	4,65	1×10^{-6}
27	Co	0,0018	5×10^{-7}
28	Ni	0,0058	2×10^{-7}
29	Cu	0,0047	3×10^{-7}
30	Zn	0,0083	1×10^{-6}
40	Zr	0,017	5×10^{-9}
44	Ru	5×10^{-6}	-
45	Rh	1×10^{-6}	-
46	Pd	$1,3 \times 10^{-6}$	-
47	Ag	7×10^{-6}	3×10^{-8}
48	Cd	$1,3 \times 10^{-5}$	3110^{-8}
77	Ir	1×10^{-6}	4×10^{-10}
78	Pt	2×10^{-5}	-
79	Au	$4,3 \times 10^{-7}$	

Металлы, у атомов которых заполняется d-подуровень, называют d-металлами. К ним относятся все благородные металлы и все платиноиды. Важное отличие платиноидов, а также золота и серебра от других d-металлов заключается в том, что у них при малом заполнении уровня d совсем не заполнен «предвнешний» уровень f. Это отличает благородные металлы от всех других.

Металлы, являющиеся основой сплавов, применяемых в художественном литье, обведены в таблице 1.1 кружочками. Их можно разделить по стоимости следующим образом:

дешевые - Fe, Cu, Zn и т.д.;

недорогие (в 10 раз дороже первых) - Cd, Ni, Ti и т.д.;

дорогие (в 10 - 100 раз дороже первых) - Co, Zr, Nb и т.д.;

дорогостоящие (в 100 - 1 000 раз дороже первых) - Ag, Ta;

драгоценные (в 1000 - 10 000 раз дороже первых) - Au, Pt, Pd, Re, Os, Ir.

Металлические сплавы по своим свойствам имеют много общего с металлами и поэтому их нередко относят к металлам. В России драгоценные металлы оценивают по метрической пробе. Проба при этом показывает, сколько граммов драгоценного металла содержится в 1000 гр. сплава. Чистому металлу соответствует 1000-я проба. За рубежом оценку драгоценных металлов проводят по каратной системе: 100 % содержанию чистого металла соответствует 24 карата.

Цена чистого серебра (999,9 проба) колеблется на международном рынке от 25 центов за унцию (27,288 гр.) в 1919 году до 4,5 долларов в 1977 году:

1919г. - \$ 0,25	1969г. - \$ 1,80
1936г. - \$ 0,40	1970г. - \$ 1,65
1955г. - \$ 1,00	1972г. - \$ 1,85
1965г. - \$ 2,29	1973г. - \$ 2,54
1968г. - \$ 2,45	1977г. - \$ 4,50

Все ювелирные изделия из драгоценных металлов, предназначенные для продажи, должны соответствовать одной из действующих проб. В России введены и действуют следующие пробы ювелирных изделий:

для золота - 375, 500, 585, 750;

для серебра - 800, 830, 875, 925, 960;

для платины - 950;

для палладия - 500, 850.



1.2. Физические свойства металлов

Плотность тела – это отношение массы тела к его объему. По плотности металлы делят на следующие группы:

легкие (плотность до 5 г/см^3) - Mg, Al, Ti и др.;

тяжелые (плотность от 5 г/см^3 до 10 г/см^3) - Fe, Ni, Cu, Zn, Sn и др.;

очень тяжелые (плотность 10 г/см^3 и более) - Mo, W, Au, Pb, Ag, Pd, Pt, Ir.

В таблице 1.3 приведены значения плотности и температуры плавления металлов, используемых для литья по выплавляемым моделям.

По температуре плавления металлы можно разделить на следующие группы:

легкоплавкие - температура плавления до 600°C ;

среднеплавкие - температура плавления от 600 до 1600°C ;

тугоплавкие - температура плавления свыше 1600°C .

При нагревании тугоплавких металлов до высоких температур ($2000-2500^\circ\text{C}$) происходит испарение электронов с поверхности металла – электронная эмиссия.

С помощью рентгеновских, электронных и других способов проникновения в глубь вещества установлено, что многие его свойства обусловлены не особенностями отдельных атомов, а строением их совокупности - кристаллов. Они возникают под действием сил связи между атомами и характерным расположением их в определенном порядке. Чем интенсивнее эти силы связи, тем плотнее соприкасаются атомы. Самая плотная упаковка достигается при кубической гранцентрированной структуре. Такое строение имеют золото, серебро, платина, палладий, родий и некоторые другие металлы. Некоторые свойства металлов, как, например, тепловые, акустические, упругие и др. зависят от межатомных взаимодействий.

При образовании связи каждый атом дает свои валентные электроны. Так, некоторое число атомов металла, входящих в кристаллическую решетку, дает столько же электронов, сколько начнут вращаться вокруг всех атомных ядер, образуя «электронный газ».

Температура плавления и плотность
некоторых металлов

Таблица 1.3

Металл	Температура плавления, °С	Плотность, г/см ³
Алюминий	660	2,70
Бериллий	1360	1,82
Висмут	271	9,80
Железо	1535	7,86
Золото	1063	19,36
Иридий	2454	22,40
Кадмий	321	8,67
Кобальт	1480	8,90
Кремний	1420	2,40
Магний	651	1,74
Марганец	1245	7,020
Медь	1083	8,94
Молибден	2620	10,20
Никель	1452	8,85
Олово	232	7,30
Осмий	2700	22,48
Палладий	1555	12,00
Платина	1773	21,45
Родий	1955	12,50
Рутений	2450	12,20
Свинец	327	11,36
Серебро	961	10,53
Серебро монетное	879	10,35
Серебро стерлинговое	893	10,40
Сурьма	630	6,62
Фосфор	44	1,82
Хром	1830	7,14
Цинк	419	7,14

Высокая электропроводность металлов обусловлена наличием свободных электронов («электронного газа»). Если мы приложим к концу металлического проводника напряжение, то движение электронов становится направленным к положительному полюсу - образуется электрический ток. По сравнению с веществами, не имеющими свободных электронов, проводимость металлов больше в 10^{25} раз. Наилучшей проводимостью обладают медь, серебро и золото. Платиноиды им уступают, но у них самое низкое значение величины удельного электросопротивления.

В таблице 1.4 приведены значения электрического сопротивления чистых металлов.

Принятые обозначения: R_t - сопротивление при температуре t °С, Ом; R_0 - сопротивление при температуре 0 °С, Ом; ρ_0 - удельное сопротивление при температуре 0 °С, Ом/мм².

Способность металлов проводить теплоту при нагревании, пропорциональна их электропроводности, потому что тепло тоже в основном передается электронной средой. У неметаллов, в которых тепло распространяется лишь колебанием ионов и атомов кристаллической решетки, теплопроводность в тысячу раз ниже, чем у металлов. Значение коэффициента теплопроводности у некоторых металлов приводятся в таблице 1.5.

При нагреве возрастают колебательные движения ионов и соответственно затрудняется движение «коллективизированных» электронов. Это приводит к росту электрического сопротивления (у платиноидов оно возрастает в 3-5 раз при температурах, превышающих 1200 °С). С повышением температуры теплопроводность снижается у всех платиновых металлов, за исключением самой платины (объяснение этому еще не найдено).

Электрические сопротивления некоторых чистых металлов

Таблица 1.4

Металл	$\rho_0 \times 10^{-4}$	R_t / R_0 при t °С							
		-253	-192	-78	100	200	300	400	500
Al	2.41	0.008	0.144	0.646	1.450	1.890	--	--	--
Fe	8.70	0.011	0.011	0.579	1.648	--	3.474	--	--
Co	5.06	0.046	0.151	--	1.658	2.478	3.527	5.564	--
Ni	6.05	0.086	0.178	0.615	1.672	2.532	3.660	4.914	--
Ru	7.64	0.083	0.170	--	--	--	--	--	--
Pd	10.88	0.010	0.173	--	--	--	--	--	--
Pt	9.80	0.001	0.206	1.392	1.392	1.772	2.141	2.498	2.844
Cu	1.55	0.006	0.148	1.433	1.433	1.866	2.308	--	--
Ag	1.49	0.009	0.207	1.410	1.410	1.829	2.263	2.720	3.168
Au	2.19	0.007	0.238	1.398	1.398	1.809	2.232	2.680	3.144

Между удельной электропроводностью и электронной составляющей теплопроводности металлов при постоянной температуре существует простое соотношение: $x/q = \text{const}$, где x - коэффициент теплопроводности; q - удельная электропроводность. Металлы и сплавы обладают высокой плотностью и вязкостью. Некоторые из них при комнатной температуре хрупки, а при нагревании становятся пластичными. Металлам присущи также та-

кие свойства как твердость и упругость. Эти свойства можно регулировать с помощью их термической обработки. Основной характеристикой механических свойств металлов является модуль упругости E - величина, характеризующая упругие свойства материалов при малых деформациях. Модуль упругости определяется как сопротивление кристаллической решетки упругой деформации.

Коэффициент теплопроводности металлов при комнатной температуре

Таблица 1.5

Металл	Коэффициент теплопроводности, кВт/м °С	Металл	Коэффициент теплопроводности, кВт/м °С
Ag	0.410	Zn	0.110
Cu	0.386	Fe	0.067
Au	0.214	Pb	0.035
Al	0.210	Ti	0.016

Деформация называется упругой, если она исчезает после снятия нагрузки и пластической, если остается после снятия нагрузки. В реальных кристаллах эти характеристики и свойства определяются наличием дефектов и дислокаций (см. рис. 1.1). Взаимодействие дефектов характеризуется искажением решетки вблизи них и пропорционально модулю упругости. В результате деформации число дислокаций в кристаллической решетке растет. Возрастает при пластических деформациях и плотность дислокаций, и неравномерность их распределения в кристаллической решетке и в местах сгущения дислокаций. Все это, в конечном счете, приводит к зарождению очагов разрушения – трещин.

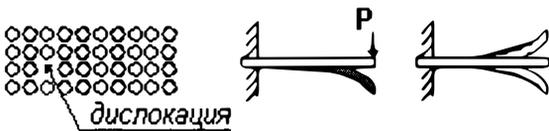


Рис. 1.1. Дислокация в кристаллической решетке и виды деформаций

Чтобы избежать этого необходимо прервать процесс деформации металла и нагреть (отжечь) его. При отжиге металл как бы обновляется и его снова можно деформировать.

Другая важная механическая характеристика металлов – это твердость. Она определяется путем вдавливания шарика в исследуемую поверхность. Единицей измерения твердости по Бринеллю является число НВ, равное отношению силы погружения (кг) к площади поверхности отпечатка (мм²). Значение твердости некоторых металлов приводится в таблице 1.6.

Маркировка сплавов на основе серебра включает обозначение компонентов и их содержание. Буквенные шифры означают: **Ср** – серебро; **М** – медь. Например, сплав **СрМ800** содержит 80% серебра и 20% – меди.

Серебро из-за более высокой химической активности по сравнению с золотом в самородном виде встречается редко. Его в основном получают из руды.

Для получения серебра руду смешивают с углем и в шахтной печи сплавляют со свинцом, а затем.

Значения твердости некоторых металлов

Таблица 1.6

Металл	НВ	Металл	НВ
Ag	25	Zn	33
Au	18	Pb	4
Cu	40	Pd	-



1.3. Серебро и сплавы на основе серебра

Если золото в древности называли металлом Солнца, то серебро считалось металлом Луны. Само слово «серебро» происходит, по видимому, от ассирийского «сарпу», одно значение которого – серп, а другое – луна. Ляпис – азотнокислое серебро – называли «лунным камнем» и в древности использовали для лечения нервной системы и эпилепсии.

Серебро – металл белого цвета, обладающий такими свойствами как блеск, ковкость, теплопроводность, электропроводность. Серебро очень пластично, из него можно получать листки толщиной около 0,25 микрон.

Плотность серебра 10,53 г/см³, температура плавления – 961 °С, температура кипения 2210 °С. Оно устойчиво по отношению к действию щелочей, органических и минеральных кислот, но тускнеет от присутствия в воздухе незначительного количества сероводорода. Чтобы серебро не тускнело, его покрывают родием, цвет которого почти не отличается от цвета серебра.

Серебро, как и золото, используется для изготовления ювелирных украшений. Ювелиры из серебра изготавливали всевозможные сосуды и столовую посуду. Лучшей в мире признана коллекция древневосточных серебряных изделий, хранящаяся в государственном Эрмитаже. Прекрасную высокохудожественную посуду и сегодня продолжают делать кубачинские мастера.

Из-за мягкости серебра, для изготовления ювелирных украшений применяют сплавы серебра с медью. Состав и основные свойства сплавов серебра приведены в таблице 1.7.

Основные свойства ювелирных сплавов на основе серебра

Таблица 1.7

Марка сплава	Плотность, г/см ³	Область плавления °С	σ _в , МПа	δ, %	НВ
Ср999,9	10.39	960	150	49	25
СрМ925	10.29	810 ÷ 910	180	28	74
СрМ900	10.30	779 ÷ 890	230	26	82
СрМ875	10.16	779 ÷ 890	230	33	82
СрМ800	10.13	779 ÷ 820	278	30	85
СрМ500	9.07	779 ÷ 865	321	36	102

Принятые обозначения: σ_в – предел прочности при растяжении; δ – удельное сопротивление; НВ – твердость по Бринеллю

проводя окислительную плавку, получают веркблей - свинец, в котором растворены благородные металлы и некоторое количество меди, сурьмы, мышьяка, олова, висмута и т.д.

Из полученного веркблея сначала путем охлаждения расплава до 340-340 °С отделяется медь, кристаллы которой всплывают на поверхность тигля. Изъяв медь из веркблея, переходят к извлечению остальных примесей - сурьмы, мышьяка, олова. Снова проводится окислительная плавка при температуре 800-900 °С. Окислы примесей всплывают на поверхность и их удаляют. После этого переходят к отделению серебра от свинца методом паттинсонирования, заключающегося в постоянном охлаждении свинцового расплава, при котором выделяются чистые кристаллы свинца, а серебро остается в растворе.

Присутствие различных примесей в сплавах серебра оказывают существенное влияние на свойства сплава.

В сплавах серебра, применяемых в производстве ювелирных изделий, содержание свинца 0,05 % и более делает их хрупкими. Поэтому сплав серебра надо тщательно очищать от свинца.

Присутствие же в них незначительного количества олова снижает температуру плавления. Если содержание олова в сплаве больше 9 %, то он становится хрупким, так как образуется хрупкое соединение Cu_4Sn .

Примеси серы также оказывают существенное влияние на свойства сплавов серебра. Содержание их в сплаве 0,05 % и более делает их хрупкими и приводит к потемнению из-за образования сульфида серебра.

На такой сплав плохо наносится гальваническое покрытие.

Углерод не реагирует с серебром и не растворяется в нем.

Фосфор же образует с серебром соединение AgP_2 , которое делает сплав красноломким и быстро тускнеющим.

Сплавы серебра растворяются в азотной и концентрированной серной кислотах. С увеличением содержания меди в сплаве серебра, его стойкость на воздухе сильно понижается. Это связано с тем, что серные и аммиачные соединения приводят к потемнению меди.

На рис. 1.3 приведен график плотности сплавов серебра. Пользуясь этим графиком, по найденной плотности можно определить пробу серебра. Плотность же определяется по формуле

$$P = m_c / (m_c - m_b),$$

где m_c - масса сплава, определенная обычным взвешиванием; m_b - масса сплава, определенная взвешиванием в воде (рис. 1.2).

У сплавов серебро - медь с повышенным содержанием меди твердость и прочность высокая, а пластичность низкая. Высокопробные сплавы серебра хорошо поддаются обработке давлением. Серебро взаимодействует с кислотами - растворяется в горячей азотной и серной кислотах. С царской водкой оно образует нерастворимый хлорид серебра $AgCl$.

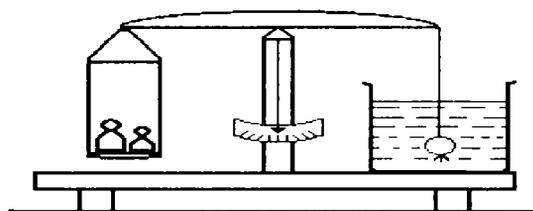


Рис. 1.2. Взвешивание сплава в воде

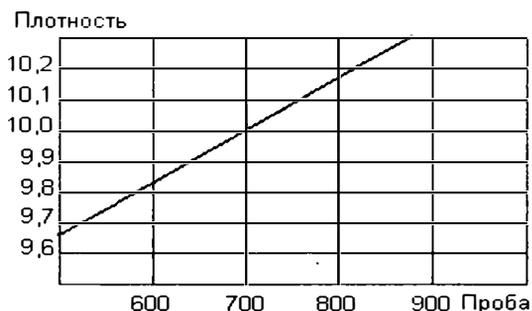


Рис. 1.3. Изменение плотности серебра различных проб

График на рис. 1.4 показывает зависимость температуры плавления сплавов серебра от его пробы.



Рис. 1.4. Изменение температуры плавления сплавов серебра в зависимости от пробы

Зона 1 - твердая фаза; 2 - жидкая; 3 - кашеобразная

Присутствие серебра в сплавах можно обнаружить действием капель азотной кислоты, а затем на то же место - каплей соляной кислоты. При наличии серебра образуется творожистый осадок хлористого серебра.

Реактивная жидкость для серебра состоит из 16 частей хромовой кислоты и 32 частей дистиллированной воды. При определении пробы серебра необходимо немного поскоблить поверхность, подлежащую испытанию, и протереть это место на пробирном камне. Затем надо смочить это место реактивной жидкостью и стереть. Если предмет серебряный, то получится кроваво - красное пятно. Чем чище серебро, тем интенсивной будет окраска.



1.4. Платина и металлы платиновой группы

1.4.1. Платина и его свойства

Если история использования человеком золота и серебра теряется в глубине веков, то начало применения платины – сравнительно недавнее событие. Платина – металл серовато-белого цвета. Он очень тягучий – английскому химику Волластону удалось из одного грамма платины вытянуть нить длиной более 70 км.

Плотность платины $21,45 \text{ г/см}^3$, твердость по Бринелю 50 кг/мм^2 (по шкале Мооса – 4,3). температура плавления 1773°C , температура кипения 4410°C . Платина не растворяется ни в горячей соляной, ни в кипящей азотной кислотах. Лишь царская водка может перевести платину в раствор. Серная кислота только при 250°C слегка действует на нее. Поэтому платина стала незаменимым материалом для изготовления химической лабораторной посуды.

Открытие уральских платиновых россыпей относится к 1819 году. В России платина нашла тогда единственное применение: ее сплавляли с медью, и из этого сплава делали пушки. Позднее платину использовали в качестве присадки, при выплавке стали.

Финансовое положение России после наполеоновского нашествия было в кризисном состоянии. Чтобы оздоровить денежное обращение, правительство решило перейти на металлическую валюту. Но для чеканки монет не хватало серебра. Тогда, в 1828 году, по настоянию министра финансов графа Е.Ф. Канкрина, царь Николай I утвердил рисунки для чеканки платиновых монет достоинством 3, 6 и 12 рублей.

В порядке возрастания химической устойчивости металлы платиновой группы могут быть расположены в следующем порядке:

- наименее устойчивые (палладий, осмий);
- устойчивые (платина);
- весьма устойчивые (рутений, родий);
- наиболее устойчивые (иридий).

Тугоплавкость металлов – свойство весьма важное для мастеров, занимающихся ювелирным литьем, определяется энергией межатомных связей. Чем выше температура металла, тем сильнее раскачивается решетка, и металлы, имеющие, например, гексагональное строение, расширяются резко и неодинаково по разным направлениям, быстро разрушаются.

Среди металлов с наиболее устойчивой кубической структурой самые выносливые те, у которых энергично работают электроны с уровня d . Чемпион по тугоплавкости – вольфрам (3380°C), но он не жаростоек. На воздухе вольфрам уже при 700°C начинает окисляться и улетучиваться. Поэтому он тугоплавок лишь в вакууме или в среде инертных газов, а во всех других условиях наибольшую тугоплавкость имеют платиноиды.

Со временем платина стала применяться и в ювелирном деле. Чистая платина не могла удовлетворить требованиям ювелиров – она слишком мягка и тугоплавка. Однако небольшие добавки других металлов улучшают ее свойства, не снижая при этом коррозионную стойкость, а именно, придают твердость и

уменьшают температуру плавления. Для изготовления ювелирных изделий применяют сплавы следующих составов:

- 1) 90% платины, 5% золота, 5% иридия;
- 2) 75% платины, 20% палладия, 5% родия;
- 3) 95% платины, 1% родия, 4% рутения;
- 4) 55% платины, 18% меди, 27% никеля;
- 5) 10% платины, 2% иридия, 58% золота, 30% палладия;
- 6) 95% платины, 4,5% палладия, 0,5% иридия;
- 7) 30-32% платины, 7-8% цинка, 60-63% меди.

Последний состав сплава по своим физико-механическим, технологическим и декоративным свойствам наиболее близок к высокопробным сплавам золота. Сплав такого состава получается путем растворения в жидком сплаве медь-цинк (латунь) расчетного количества платины.

Графическое изображение фазового состояния сплава как функции от температуры и концентрации называют диаграммой состояния. Из диаграммы состояния Pt-Ni на рисунке 1.5 видно, что при 50%-ной концентрации Ni самая низкая температура плавления сплава. Кроме того, в этой точке самая наибольшая твердость сплава (рис. 1.6).

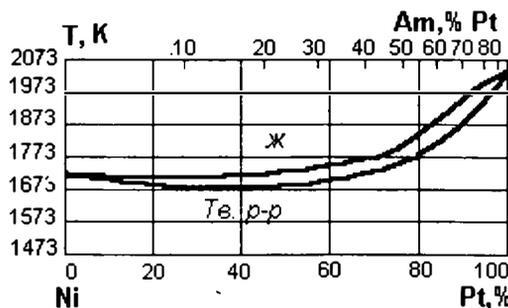


Рис. 1.5. Диаграмма состояния системы Pt-Ni

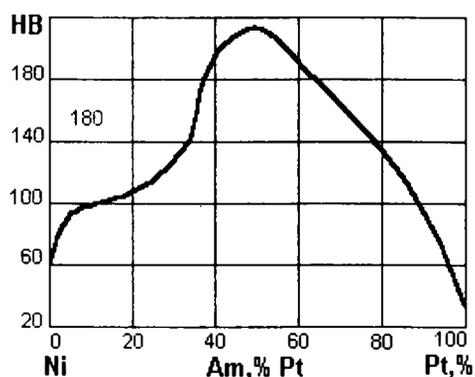


Рис. 1.6. Твердость сплавов системы Pt-Ni

В ювелирной промышленности применяют сплав платиновой группы **ПлИ-5**, представляющей собой платину, легированную 5% иридия. В отожженном состоянии он имеет такие значения механических свойств: твердость 790-890 МПа, предел прочности при растяжении 2000 МПа, относительное удлинение 22-32%. Температура плавления сплава около 1790°C . Присутствие 5% иридия в платиноиридиевом сплаве повышает его температуру плавления кислотостойкость и твердость, что, в конечном счете, делает изделия из него более износостойкими. Этот сплав лучше полируется, цвет остается характерным для платины.

Для приблизительного определения пробы платиновых сплавов используют раствор йодистого камня.

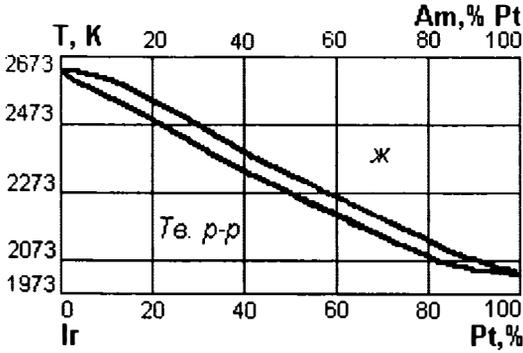


Рис. 1.7. Диаграмма состояния системы Pt-Ir

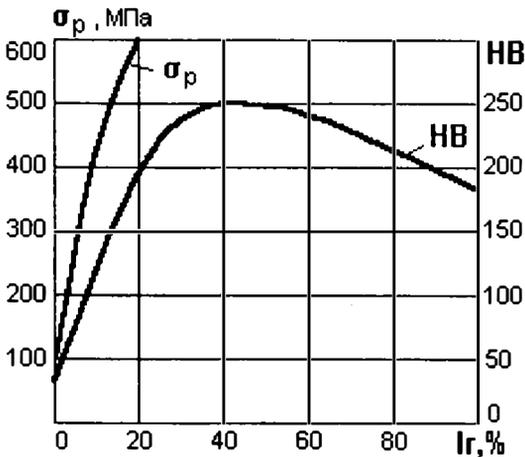


Рис. 1.8. Твердость сплавов системы Pt-Ir

На технически чистую платину йодистый камень не действует. На черте платинового сплава на пробирном камне реактив оставляет темный осадок. Как и с золотыми сплавами, отбор ведется в сравнении с пробирными иглами. Пробирный камень – это каменистый сланец мелкозернистого строения, черного цвета, без трещин и инородных включений, с отшлифованной поверхностью.

Диаграмма состояния сплава платина-иридий приведена на рис.1.7. Легирование платины иридием приводит к увеличению температуры плавления сплава и к возрастанию твердости сплава (рис.1.8).

1.4.2. Палладий и его свойства

В ювелирных изделиях платину в последнее время все чаще стали заменять палладием, который получил товарное название «белое золото». У него температура плавления намного ниже, чем у платины.

Палладий – металл серебристо белого цвета, напоминающий по внешнему виду платину. Он обладает следующими свойствами: объемный вес $11,3 \text{ г/см}^3$, плотность $12,0 \text{ г/см}^3$, атомный вес 106,4. Палладий окрашивает спиртовой раствор селитры в темно-красный цвет, зеленый купорос выделяет его в виде неочищенной сурьмы. Если выпаривать этот раствор, то выпала-

ет осадок металла. Палладий может быть выделен с помощью ртути или других металлов, кроме золота, платины и серебра. Он плавится при температуре $1555 \text{ }^\circ\text{C}$. кипит при $4000 \text{ }^\circ\text{C}$. при обычном нагреве приобретает голубой оттенок, а затем опять светлеет. Если в нагретом состоянии дотронуться до палладия кусочком серы, то он расплавится как цинк. Палладий расплавляется в горячей разбавленной азотной кислоте, химически устойчив на воздухе и воде, легко растворяется в «царской водке» и концентрированной серной кислоте. Спиртовой раствор йода оставляет на палладии темные пятна. Твердость палладия по Бринелю в отожженном состоянии 52 кг/мм^2 ; (по шкале Мооса – 4,8).

Палладий обладает хорошей тягучестью и ковкостью, но менее стоек (по сравнению с платиной) к различным воздействиям.

Для изготовления ювелирных изделий палладий используется в сплаве с другими металлами. Обычно применяют сплав палладия 850-й пробы, содержащей 85% палладия, 13% серебра и 2% никеля.

Раньше сплавы палладия использовались для изготовления колец, брошей, браслетов для часов, а из сплава палладия 500-й пробы выполнялись крышки корпуса к наручным часам фирмы «Заря».

1.4.3. Родий и его свойства

При изготовлении ювелирных изделий особенно много внимания уделяется на покрытия из благородных металлов. Покрытия родия стали вытеснять покрытия, как из серебра, так и из платины.

Родий – металл бледно-голубого цвета, напоминающий по внешнему виду алюминий. Плотность родия $22,4 \text{ г/см}^3$, твердость по шкале Мооса 5,5-6, температура плавления $1966 \text{ }^\circ\text{C}$.

Родий химически стойкий металл: в «царской водке» не растворяется, на воздухе окисляется только при нагревании до красного каления, растворяется лишь в концентрированной серной кислоте. Родиевые покрытия обладают высокой твердостью, коррозионной стойкостью, высокой отражательной способностью и не тускнеющим блеском. Светоотражающая способность родиевых покрытий на 25 % выше платиновых.

Для кодирования ювелирных изделий применяют фосфатные электролиты. Состав электролита родирования следующий: родий фосфата (в пересчете на металл) – 2г/л; кислота ортофосфорная (плотность $1,7 \text{ г/см}^3$) – 50-75г/л.

Температура электролита $19-20 \text{ }^\circ\text{C}$, плотность тока $0,3 \text{ а/дм}^2$, скорость охлаждения $0,04-0,09 \text{ мкм/мин}$. Электролит используют с нерастворимыми анодами, в качестве которых используют родий, платину и спектрально чистый графит.

Применяется родий как для покрытия серебряных изделий (для защиты их от потускнения), так и для покрытия изделий из белого золота (для сохранения блеска).

Основные физические свойства платиновых металлов

Таблица 1.8

Свойства	Тяжелые			Сверхтяжелые		
	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt
Атомный номер	44	45	46	76	77	78
Атомный радиус в ангстремах (10^{-8} см)	1,31	1,34	1,37	1,32	1,35	1,38
Атомная масса	101,1	102,9	106,4	190,2	192,2	195,1
Плотность при 20° С ($г/см^3$)	12,30	12,42	11,90	22,70	22,65	21,45
Температура плавления ° С	2400	1960	1555	2700	2443	1769
Температура кипения ° С	4200	3900	3170	5300	4560	4400
Твердость по Моссу	6,5	6	4,25	7	6,5	4,1
Твердость по Бринелю ($кг/мм^2$)	193,6	55	31,7	--	163	30,5
Кристаллическая решетка	гексагональная	кубическая	кубическая	гексагональная	кубическая	кубическая



металлами как палладий, медь, серебро, никель, цинк и др. В таблице 1.9 приведены ювелирные сплавы золота.

1.5. Золото и сплавы на основе золота

Золото было первым металлом, известным человеку - изделия из него найдены в культурных слоях эпохи неолита (5-4 тысячелетия до н.э.). Золото представляет собой мягкий пластичный металл желтого цвета. Один грамм золота может быть протянут в виде проволоки длиной в два километра. Своими декоративными свойствами оно превосходит все металлы и обладает весьма ценным комплексом физико-химических характеристик. Среди всех других благородных металлов золото выделяется наилучшей полируемостью и высокой отражательной способностью. По электро- и теплопроводности лишь немного уступает меди и серебру. Золото обладает низкой твердостью и повышенной пористостью, что способствует диффузии некоторых металлов (цинк, олово, медь, серебро и др.) при комнатной температуре.

Температура плавления чистого золота - 1063°С, температура кипения - 2966°С, сингония кубическая. Размер элементарной ячейки $a_0 = 4,078$ А. Твердость по шкале Мооса 2,5-3.

Более 99 % золота, имеющегося в земной коре, присутствует в самородном виде. Самородное золото часто содержит в виде примеси серебро. Встречается также медистое, палладистое, и висмутистое золото. Золото с примесью платины называют гнилым или «испанским», так как червонный блеск, присущий высокопробному золоту, приобретает серовато-тусклый оттенок.

Золото используется в ювелирных изделиях, для изготовления медалей, чеканки монет, для научных целей, зубного протезирования и т. д.. Чистое золото слишком мягко для использования в ювелирном деле. Чтобы сделать золото износостойким, его сплавляют с другими металлами. Чистое золото сплавляют с такими

Ювелирные сплавы золота

Таблица 1.9

Название сплава	Компоненты
Белое золото	Au - Ni - Cu - Zn
Белое золото	Au - Pd - Ag
Желтое золото	Au - Ag - Cu
Зеленое золото	Au-Ag-Cu(Au > Cu)
Красное золото	Au-Ag-Cu(Cu > Au)

Цвет ювелирного золота меняется от красного до белого в зависимости от концентрации сплавляемых металлов. Например, состав литейного белого золота 583 пробы (14 карат) фирмы «Хенди энд Хармен» выглядит так:

Au - Cu - Ni - Zn
58,33% - 22,1% - 10,8% - 8,77%

При изготовлении ювелирных изделий из золота применяются различные методы обработки: ковка, литье, волочение, штамповка, отжиг, пайка и др. Метод обработки зависит от того, что собираются получить в итоге: цепь, браслет, перстень, серьги, брошь и т. д. В каждом отдельном случае ведется подбор сплава с определенными физико-химическими свойствами - цвет, пластичность, температура плавления, коррозионностойкость и т. д.

Маркировка золотых сплавов включает обозначение компонентов и их содержание. Буквенный шифр означает:

Зл - золото; **Ср** - серебро; **М** - медь; **Пд** - палладий; **Пл** - платина; **Н** - никель; **Кд** - кадмий; **Ц** - цинк.

Например, сплав марки **ЗлСрМ585-80** содержит 58,5% золота, 8% серебра, остальное - медь.

Золото, на которое надо наложить эмаль, должно иметь очень низкое содержание цинка.

При введении в золото различных компонент меняются его свойства.

Серебро в сплаве золота понижает температуру плавления, повышает его пластичность, мягкость и ковкость, меняет цвет от желтого до желто-зеленого по мере увеличения его содержания в сплаве.

Медь повышает твердость сплава, понижает температуру плавления, обуславливает ковкость, тягучесть и пластичность, меняет цвет от красного до ярко-красного.

Платина повышает температуру плавления, придает сплаву упругость и окрашивает его в белый цвет.

Палладий повышает температуру плавления, обеспечивает пластичность, мягкость и ковкость. Сплав золота при 10% содержании палладия окрашивается в белый цвет.

Никель повышает твердость сплава, улучшает литейные его свойства придает ему белый цвет.

Иридий понижает температуру плавления сплава. Например, двухкомпонентный сплав, состоящий из 75% золота и 25% иридия плавится при температуре 425°C – это самый легкоплавкий золотой припой.

Введение **никеля** и **иридия** в сплав для изготовления обручальных колец позволяет избежать черных полос на пальцах.

Цинк повышает текучесть и твердость сплава, охрупчивает его, резко понижает температуру плавления и придает сплаву белый цвет.

Кадмий понижает температуру плавления, повышает пластичность, ковкость и мягкость сплава, придает ему белый цвет.

Золото и его высокопробные сплавы обладают высокими коррозионноустойчивыми свойствами и в обычных условиях практически не реагируют с окружающей средой.

Различные сплавы на основе золота приведены в таблице 1.10. Поведение чистого золота в различных средах приведено в таблице 1.11.

Для мастеров-ювелиров, занимающихся литьем изделий из сплавов на основе золота, важно знать физико-механические свойства металла и сплавов в зависимости от температуры. Диаграмма состояния двой-

ных и тройных систем на основе золота является базой для изучения фазового состава, структурных составляющих, определения механических, технологических и других свойств ювелирных сплавов.

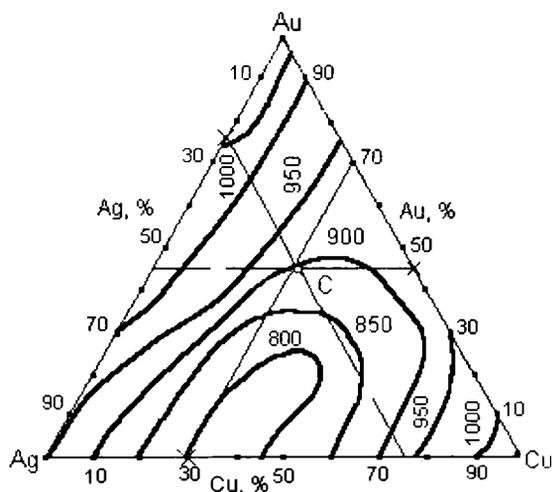


Рис. 1.9. Поверхность ликвидуса сплавов Au-Ag-Cu.

Диаграмма состояния сплава Au-Ag-Cu, представленная на рис. 1.9 имеет широкий температурный интервал поверхности ликвидуса. Например, точка 'С' на графике соответствует сплаву $\text{Au}_{45}\text{-Ag}_{25}\text{-Cu}_{30}$ с температурой плавления 900°C .

Сплавы на основе золота

Таблица 1.10

Марка сплава	Au	Ag	Cu	Ni	Pd
ЗлСрПдН750-90-140	75.0±0.3	9±0.5	--	2±0.3	14±0.5
ЗлСрПдН750-70-140	75.0±0.3	7±0.5	--	4±0.3	14±0.5
ЗлСрМ750-125	75.0±0.3	12,5±0.5	остальное	--	--
ЗлСрМ750-150	75.0±0.3	15±0.5	остальное	--	--
ЗлСрМ585-80	58.5±0.3	8±0.5	остальное	--	--
ЗлСрМ583-80	58.3±0.3	8±0.5	остальное	--	--
ЗлСрМ583-300	58.3±0.3	30±0.5	остальное	--	--
ЗлСрПд375	37.5±0.3	10±0.5	--	--	16±1
ЗлСрПд375	37.5±0.3	10±0.5	--	--	3.8±0.3
ЗлСрПд375	37.5±0.3	10±0.5	--	--	3.8±0.3

Поведение золота в различных средах

Таблица 1.11

Среда	Температура	Оценка
Серная кислота	Комнатная	Почти не действует
Серная кислота	100	Почти не действует
Серная кислота (дымящая)	Комнатная	Почти не действует
Надсерная кислота	Комнатная	Почти не действует
Селеновая кислота	Комнатная	Почти не действует
Селеновая кислота	100	Почти не действует
Азотная кислота (70%)	Комнатная	Почти не действует
Азотная кислота (70%)	100	Почти не действует
Азотная кислота (дымящая)	Комнатная	Слегка действует
Царская водка	Комнатная	Быстро разъедает
Фтористоводородная кислота (40%)	Комнатная	Почти не действует
Соляная кислота (плотность 1,19 г/см ³)	Комнатная	Почти не действует
Бромистоводородная кислота (плотность 1,70 г/см ³)	Комнатная	Почти не действует
Йодистоводородная кислота (плотность 1,75 г/см ³)	Комнатная	Почти не действует
Хлорная кислота	Комнатная	Почти не действует
Хлорная кислота	Комнатная	Почти не действует
Уксусная кислота	100	Почти не действует
Лимонная кислота	100	Почти не действует
Винная кислота	100	Почти не действует
Раствор синильной кислоты в присутствии кислорода	100	Значительно разъедает
Ортофосфорная кислота	100	Почти не действует
Фтор	100	Почти не действует
Фтор	Комнатная	Почти не действует
Хлор сухой	100	Слегка действует
Хлор влажный	Комнатная	Быстро разъедает
Хлорная вода	Комнатная	Быстро разъедает
Бром сухой (жидкий)	Комнатная	Быстро разъедает
Бромная вода	Комнатная	Быстро разъедает
Йод	Комнатная	Слегка действует
Раствор йода в йодиде калия	Комнатная	Быстро разъедает
Раствор йода в спирте	Комнатная	Значительно разъедает
Раствор хлорида железа (III)	Комнатная	Слегка действует
Сера	100	Почти не действует
Селен	100	Почти не действует
Сероводород влажный	Комнатная	Почти не действует
Сернистый натрий в присутствии кислорода	Комнатная	Значительно разъедает
Цианид калия в присутствии кислорода	Комнатная	Быстро разъедает
Золото в качестве анода в растворах, содержащих галогеноводородные кислоты или цианиды	Комнатная	Значительно и быстро разъедает

1.5.1 Сплавы золота Au-Ag-Cu 583-й пробы

Диаграмма состояния сплава Au-Ag-Cu 583-й пробы представлена на рисунке 1.10.

Как видно из рисунка, наиболее легкоплавкими являются сплавы с содержанием меди в пределах от 22 до 25 %. Интервал затвердевания всех сплавов 583-й пробы остается сравнительно низким, и не превышает 50 °С.

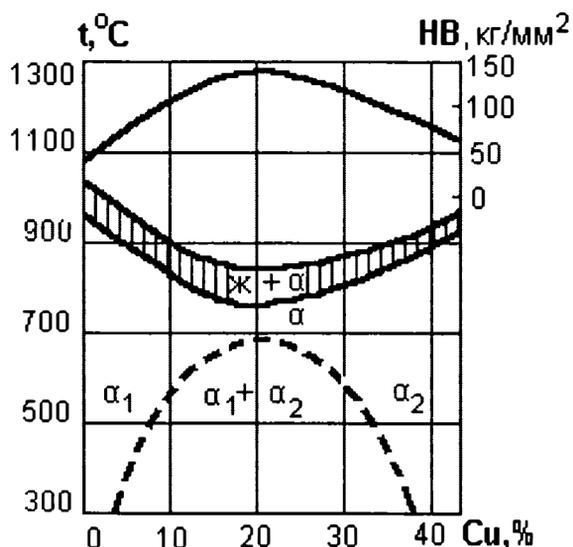


Рис.1.10 Диаграмма состояния сплавов золота 583-й пробы и кривая изменения твердости этих сплавов

На практике мастера-ювелиры имеют дело со сплавами марки **ЗлСрМ583-80**, где содержание меди - $33,7 \pm 0,5\%$, серебра $8 \pm 0,5\%$.

В жидком состоянии все сплавы золота гомогенны, т.е. однофазны (α). При затвердевании сплавы системы становятся гетерогенными, т.е. двухфазными (α_1 и α_2). Это происходит вследствие распада твердого раствора на две фазы, одна из которых (α_1) обогащена серебром, а другая (α_2) - медью. Пунктирная линия на рис.1.10 показывает распад однофазного твердого раствора на две фазы при различных температурах и концентрации.

В верхней части рис.1.10 показана кривая изменения твердости по Бринелю для сплава 583-й пробы в зависимости от концентрации меди и серебра. Твердость этих сплавов меняется от 30 до 130 кг/мм², причем максимум твердости имеет сплав с концентрацией меди около 21%. Твердость сплава **ЗлСрМ583-80** равна 100 кг/мм².

Сплав **ЗлСрМ** при быстром охлаждении приобретает мягкость и пластичность, а при медленном - твердость и хрупкость.

Такое необычное поведение сплавов из золота объясняется тем, что при их затвердевании после плавки образуются кристаллы, состоящие из неправильных многоугольников. При прокате слитков кристаллы удлиняются и расслаиваются. Отжиг вызывает дробление кристаллов. При температуре около 200 °С происходит рекристаллизация. При медленном понижении температуры кристаллы остаются мелкими, что и придает сплаву твердость и хрупкость.

При резком охлаждении сплава Au-Ag-Cu размеры кристаллов увеличиваются, а грани сглаживаются, что приводит к увеличению пластичности и понижению твердости. В таблице 1.12 приведены некоторые свойства сплавов золота 583-й и 585-й проб.

Свойства сплавов золота 583-й и 585-й проб

Таблица 1.12

Марка сплава	Плотность $\rho \times 10^{-3} \text{ кг/м}^3$	Температура плавления, К	
		Нижняя кр. точка	Верхняя кр. точка
ЗлСрМ585-80	13,24	1178	1151
ЗлСрМ583-300	13,92	1153	1108
ЗлМ585	13,01	1195	1180

1.5.2 Сплавы золота Au-Ag-Cu 750-й пробы

Диаграмма состояния сплавов Au-Ag-Cu 750-й пробы показана на рис. 1.11.

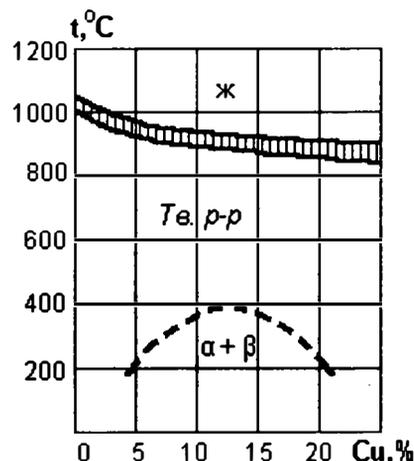


Рис. 1.11. Диаграмма состояния сплавов золота 750-й пробы

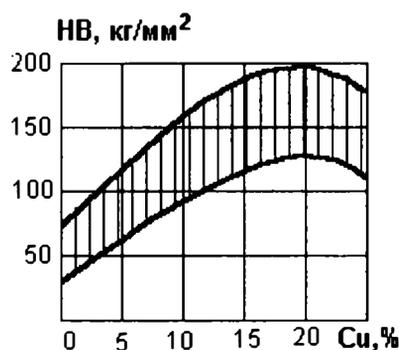


Рис. 1.12. Кривая изменения твердости сплавов золота 750-й пробы

Из этой диаграммы следует, что температура плавления сплава **ЗлСрМ750** понижается с увеличением концентрации меди в сплаве. Интервал же плавления всех сплавов сравнительно узок и составляет около 20–25 °С. Пунктирная кривая показывает, что однофазные твердые растворы распадаются при охлаждении на две фазы - α и β в зависимости от температуры и кон-

центрации. Максимальная температура перехода составляет 400°C для сплава ЗлСрМ750-125. Увеличение содержания любого компонента элементов (меди или серебра) приводит к снижению фазового перехода.

На рис. 1.12 приведена зависимость твердости сплава ЗлСрМ750 от концентрации меди и серебра.

Как видно из рисунка этот сплав, богатый серебром, обладает наименьшей прочностью, пластичностью и твердостью. По прочности и пластичности к сплаву ЗлСрМ583-70 наиболее близок сплав ЗлСрМ750 с содержанием серебра менее 12%.

В таблице 1.13 приведены сплавы золота 958-й пробы и зависимость цвета сплавов от концентрации сплавляемых металлов. В таблице 1.14 аналогичные данные приведены для сплавов золота 750-й пробы.

Сплавы золота Au-Ag-Cu 958 пробы

Таблица 1.13.

Долевое содержание, %			Цвет
золота	серебра	меди	
95,8	2,0	2,2	ярко-желтый
95,8	2,1	2,1	ярко-желтый

Сплавы золота 750-й пробы

Таблица 1.14

Долевое содержание, %							Цвет
золота	серебра	меди	платины	палладия	никеля	цинка	
75	4,0	21,0	--	--	--	--	красный
75	8,3	16,7	--	--	--	--	красноватый
75	12,5	12,5	--	--	--	--	ярко-желтый
75	25,0	--	--	--	--	--	зеленый
75	5,0	--	--	20,0	--	--	белый
75	7,0	--	--	14,0	4,0	--	белый
75	8,0	8,0	9,0	--	--	--	белый
75	--	3,5	--	--	16,5	5,0	белый

1.5.3. Сплавы белого золота 585 и 750 пробы

Золото приобретает белый цвет при добавлении к нему палладия (около 16%), а также никеля и цинка. Традиционными являются сплавы системы Au-Ag-Pd (ЗлСрПд583-257-160). Диаграмма состояния сплава Au-Ag-Pd приведена на рисунке 1.12.

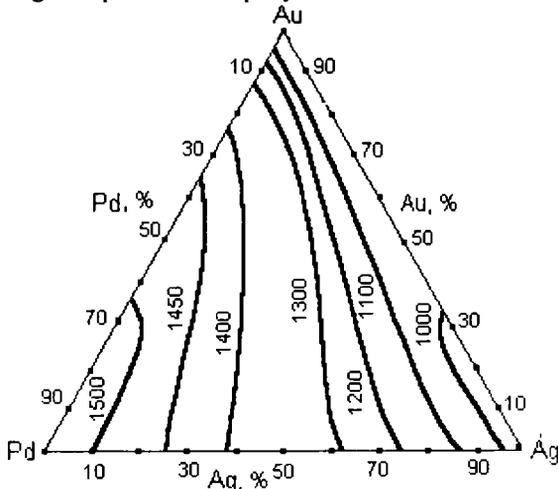


Рис. 1.12. Поверхность ликвидуса сплавов системы Au-Ag-Pd (температура плавления сплавов начинается от угла Pd к Au-Ag).

В последнее время наиболее широко применяются сплавы белого золота 750-й пробы ЗлМНЦ750-150-75-25 (15% меди, 7,5% никеля и 2,5% цинка) и ЗлМНЦ750-100-100-50. Эти сплавы предназначены для изготовления ювелирных изделий методом литья, так как отличаются от сплавов ЗлСрПд хорошими литейными свойствами, сравнительно низкой температурой плавления, более высокой прочностью и твердостью.

Мастерам-ювелирам мелких частных фирм приходится зачастую самим изготавливать сплавы золота, не соблюдая при этом технологию изготовления, а также не выдерживая чистоту компонентов сплавов ЗлСрМ585, ЗлМН585 и ЗлМНЦ750. Поэтому обычно эти сплавы не отвечают требованиям ГОСТа и, как следствие, возникают сложности при апробировании в Пробирных палатах.

В последнее время на рынке ювелирных принадлежностей появились в продаже лигатуры (сплавы) для получения сплавов золота различных проб и цветов, для изготовления припоев, а также компоненты сплавов золота - бескислородная чистая медь, химически чистый цинк, чистый никель и др. Эти лигатуры составлены из металлов высокой чистоты и специальных раскислителей.

Например, лигатуры для желтого золота 583-й пробы №2 фирмы «Хенди энд Хермен» имеет следующий состав:

Ag - 20,11%, Cu - 70,17% и Zn - 9,72%.

Это означает, что в 100 гр. этой лигатуры содержится 20 гр. серебра, 70 гр. меди и 10 гр. цинка.

Лигатура для белого золота 583-й пробы фирмы «Эл Эс Мэньюфэкчеринг» -

Ni - 25,15%, Cu - 58,85%, Zn - 16%.

Лигатура для белого золота 583-й пробы фирмы «Родмен энд Ярус» -

Ni - 30%, Cu - 54%, Zn - 16%.

Технические характеристики лигатур для сплавов золота, выпускаемые итальянскими фирмами, будут приведены в третьей главе.

Химические составы сплавов белого золота 750-й и 583-й проб приведены в таблице 1.15.

Температуры плавления и кипения этих же сплавов приведены в таблице 1.16.

Состав сплавов золота 750-й и 583 проб

Таблица 1.15

Обозначение сплава	Долевое содержание, %					
	золота	меди	никеля	цинка	серебра	палладия
ЗлМНЦ750-150-75	75,0	15,0	7,5	2,5	--	--
ЗлМНЦ750-100-100	75,0	10,0	10,0	5,0	--	--
ЗлМНЦ750-85-135	75,0	8,5	13,5	3,0	--	--
ЗлМНЦ750-35-165	75,0	3,5	16,5	5,0	--	--
ЗлМНЦ750-125-100	75,0	12,5	10,0	2,5	--	--
ЗлСрПдН750-90-140	75,0	--	2,0	--	9,0	14,0
ЗлМНЦ583-250-125	58,3	25,0	12,5	4,2	--	--
ЗлМНЦ583-227-120	58,3	22,7	12,0	7,0	--	--
ЗлМНЦ583-162-170	58,3	16,2	17,0	8,5	--	--
ЗлМНЦ583-235-122	58,3	23,5	12,2	6,0	--	--
ЗлМНЦ583-220-147	58,3	22,0	14,7	4,8	--	--
ЗлСрПд583-257-160	58,3	--	--	--	25,7	16,0

Литейные свойства сплавов белого золота 750-й и 583 проб

Таблица 1.16

Обозначение сплава	Температура, К		Плотность 10 ³ кг/м ³
	ликвидус	солидус	
ЗлМНЦ750-150-75	1218	1188	14,81
ЗлМНЦ750-100-100	1213	1153	14,65
ЗлМНЦ750-85-135	1223	1173	14,77
ЗлМНЦ750-35-165	1238	1163	14,64
ЗлМНЦ750-125-100	1223	1183	14,84
ЗлСрПдН750-90-140			
ЗлМНЦ583-250-125	1258	1208	12,82
ЗлМНЦ583-227-120	1263	1183	12,69
ЗлМНЦ583-162-170	1298	1178	12,61
ЗлМНЦ583-235-122	1253	1163	12,73
ЗлМНЦ583-220-147	1263	1173	12,77
ЗлСрПд583-257-160	1223	--	14,74

Сплавы белого золота 750-й пробы **ЗлМНЦ750** очень чувствительны к наличию примесей серы, углерода, кремния, фосфора и алюминия, а также различных газов. Во избежание попадания серы из графита, плавку сплава следует вести в корундовых тиглях. Наличие примесей в сплавах **ЗлМНЦ750** приводят к их охрупчиванию. Изготовление сплавов следует вести из металлов высокой чистоты.

Во избежание охрупчивания сплава, нельзя использовать в шихте белого золота отходы. Отходы следует очистить методом рафинирования, который будет описан в параграфе 1.8.

Наибольшая пластичность свойственна сплавам с более высоким содержанием меди, т.е. - **ЗлМНЦ750-150-75** и **ЗлМНЦ750-125-100**. Хрупкость сплава может быть обусловлена процессами атомного упорядочения, при которых может произойти самопроизвольное разрушение сплава по границам зерен, без приложения внешней нагрузки.

Для предотвращения упорядочения атомов, т.е. охрупчивания сплавов **ЗлМНЦ750**, следует провести резкую закалку сплава от температуры выше 300°C. С этой целью сплав, нагретый до 300-400°C, резко опускают в холодную воду или в смесь вода-спирт (50/50).

Изготовление сплавов белого золота с использованием лигатур различных иностранных фирм позволяет получить сплавы с высокими литейными свойствами. Использование специальных раскислителей и металлов высокой чистоты делает сплавы более пластичными и с высокой сопротивляемостью окислению.

Сплавы, изготовленные из лигатур, позволяют проводить переплавки (использование отходов) белого золота.



1.6. Влияние примесей на свойства сплавов золота

Пластичность - это свойство твердого тела сохранять часть деформации при снятии нагрузок, которые ее вызвали.

В качестве показателя пластичности или хрупкости материала выбрана величина относительного удлинения $\Delta L = (L - L_0)/L_0$, определяемая экспериментально. Пластичными называются металлы или сплавы, относительное удлинение которых больше 3%, хрупкими - меньше 3%.

На практике ювелиры имеют дело со сплавами **ЗлСрМ585-80**, которые в тех или иных случаях могут быть хрупкими или пластичными. Хрупкие сплавы не пригодны для обработки и изготовления ювелирных изделий - поэтому ювелиры стараются ликвидировать эту хрупкость. Охрупчивание может быть связано со структурно-фазовыми превращениями в сплаве, или же с наличием примесей в сплаве.

Сплав золота с медью при быстром охлаждении приобретает мягкость и пластичность, а при медленном охлаждении - твердость и хрупкость.

Если хрупкость вызвана структурно-фазовыми превращениями, то в сплаве **ЗлСрМ585-80** она может быть ликвидирована нагревом до температуры 400°C с последующей закалкой.

Значительно опасней хрупкость, обусловленная наличием примесей в сплаве. В с этой связи мастерам-ювелирам необходимо знать влияние на свойства сплавов золота различных примесей.

Хрупкость сплавов золота может быть связана также со случайным загрязнением или введением в сплав таких примесей как цинк, олово, свинец, алюминий, железо, фосфор, кислород, сера, кадмий, кремний и др.

Свинец является наиболее вредной примесью для сплавов золота. При содержании свинца в сплаве золота около 0,05 % этот сплав становится полностью непригодным для обработки давлением.

Цинк охрупчивает сплав золота, если его содержание превышает 0,3 %. Цинк имеет сравнительно низкую температуру кипения, поэтому при введении его в расплавленное золото надо соблюдать осторожность, так как он может разбрызгать расплав. Добавка 0,1 % (от массы шихты) цинка в сплав золота 585-й пробы оказывает раскисляющее действие и, кроме того, повышается жидкотекучесть сплава.

Алюминий приводит сплав к потускнению, а также при больших концентрациях может делать сплав непригодным к пластической деформации.

Олово также делает сплавы золота хрупкими, если его содержание превышает 4 %. Если же содержание олова меньше 4 %, то сплавы Au-Ag-Cu без заметного вреда могут растворять его в себе.

Сера в сплаве Au-Ag-Cu взаимодействует с Au и Cu и образует хрупкое соединение. Особенно чувствительно к примеси серы белое золото - сплав золота, содержащий никель или палладий (**ЗлСрПд585**, **ЗлСрПдН750-70-140**). Сплавы золота с содержанием никеля более 1 % очень чувствительны к примесям серы и поэтому при травлении и отжиге этих сплавов надо избегать серной кислоты. Несколько сотых долей процента серы достаточно для того, чтобы сплавы **ЗлСрПд** и **ЗлСрПдН** стали полностью непригодны для обработки давлением.

Фосфор, попадая в сплавы золота, взаимодействует с легирующим металлом и образует хрупкое соединение.

Кремний взаимодействует с платиной и палладием, образуя хрупкое соединение, плавящееся при температуре около 670°C. Сплавы золота с содержанием палладия и платины (белое золото) нельзя плавить в тиглях, содержащих кварц.

Если все же каким-то образом примеси попали в сплав золота, и он стал хрупким, то необходимо провести вторичную окислительную.

Ниже приведены основные положения проведения этого процесса:

1. Ввести в расплав селитру (нитрат калия - KNO_3) и тщательно перемешивать расплав по всему объему, удаляя шлаки. Селитру вводят в тигель в объеме равном объему расплава.

2. Перемешивать расплав с помощью прокаленного древесного угля до полного исчезновения активности селитры. Защита от окисления в процессе плавления сплава производится с помощью плавленной борной кислоты.

3. Вылить содержимое тигля в кофель.

4. Полученный слиток кипятить в азотной кислоте.

5. Применить закалку сплавов золота с температурой выше 350°C.



1.7. Взаимодействие сплавов золота с газами

Кислород, водород, пары воды, углероды, азот в чистом золоте не растворяются. Однако, попадая в сплавы золота, они являются причиной возникновения пористости. Кроме того, они взаимодействуют с легирующими компонентами (см. табл. 1.17), что приводит к охрупчиванию сплавов.

Качество литья во многом зависит от взаимодействия жидких металлов (расплавов) с газами. Взаимодействуя с жидкими расплавами, газы образуют с ними растворы по мере их охлаждения. В процессе кристаллизации газы выходят из расплава и образуют газовые пузыри, являющиеся одной из причин образования газовой пористости.

Взаимодействие жидких металлов с газами и углеродом

• Таблица 1.17

Газ \ Metall	Sn	Pb	Zn	Mg	Al	Cu	Mn	Ni	Fe	Ti
Водород	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Кислород	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Азот	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Углерод	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+

Примечания: знак «+» указывает на растворимость, а «-» - на незначительную растворимость; чистое золото не золотом не взаимодействует с указанными элементами; палладий взаимодействует с водородом и кислородом.

Основной задачей ювелиров-литейщиков является исключение газовой пористости в отливках. Ее можно уменьшить или даже исключить при следующих условиях:

1. Вакуумная плавка позволяет исключить газовую пористость, а также уменьшить содержание вредных примесей в расплаве.
2. Покрытие верхней части расплава ZrM в тигле защитным слоем с помощью борной кислоты (буры) значительно уменьшает пористость отливок.
3. Раскисление расплава для удаления из него растворенного кислорода.
4. Правильное проведение процесса плавки сплавов золота.



1.8. Очистка золота от примесей

Существуют различные способы очистки золота от примесей. Рассмотрим основные из них.

1.8.1. Амальгамация

Наиболее простой способ получения золота из руды - амальгамация. Сущность этого метода заключается в том, что измельченная руда обрабатывается ртутью, после чего из образовавшейся таким образом амальгамы золото выделяется испарением ртути.

1.8.2. Очистка золота хлором (хлоринация)

При очистке золота методом хлоринации, золото плавят в шамотных тиглях, после чего через расплавленную массу пропускают струю газообразного хлора. С хлором взаимодействует не только золото, но и примеси: свинец, олово, цинк, сурьма и другие металлы. Их хлористые соединения летучи, из-за чего они легко удаляются из расплава. Хлорное же золото, медь и серебро остаются. Так как температура тигля (около $1063^{\circ}C$) - высокая, то эти соединения распадаются, золото выпадает на дно в металлическом виде. По охлаждению расплава золото легко отделяется от остальной массы. Такая очистка дает золото 998-й пробы или, иначе говоря, 99,8 % чистоты.

1.8.3. Очистка золота с помощью свинца

При очистке золота этим методом золото в руде или золото с примесями помещается в небольшой тигель, туда же помещают зерна чистого свинца и буру.

При тигельной плавке в состав шихты входит не металлический свинец, а его окись, а также восстановители (древесный уголь, мука, отруби, винный камень и т.д.). При нагреве окись свинца восстанавливается до свинца и соединяется с чистыми благородными металлами. Все остальные компоненты с помощью буры переходят в шлак. Плавка при этом ведется окислительная - на воздухе. При этом все благородные металлы, содержащиеся в руде, собираются в свинце, а остальные примеси переходят в шлак. Получается веркблей - сплав свинца с благородными металлами. Выделение золота из свинцового соединения производится плавкой в чашечке из костяной золы (купелирование). Такой метод применяли еще в древности египетские жрецы.



1.9. Очистка отходов золота

Отходы золота - это опилки, мусор с пола, содержащие золото, тряпки и мусор после полировки, маленькие кусочки (рабочие отходы) золота различных проб и различных цветов и т.д.

Очистку опилок начинают с удаления из отходов железа магнитом. Затем проводится отжиг отходов на стальной или чугунной сковороде для удаления органических материалов (дерево, бумага, тряпки и т.д.). После этого опилки охлаждают, промывают чистой водой и сушат.

Мусор, содержащий золото, сначала нагревают и плавят в тиглях, добавляя флюс, состоящий из буры, поваренной соли и соды. После очистки все отходы плавят в графитовых тиглях с добавлением буры или борной кислоты, а полученный расплав заливают в открытую изложницу.

В полученный слиток золота могут попасть различные примеси, что приводит к понижению пробы золота, а также к охрупчиванию сплава. Поэтому желательно провести количественный анализ сплава, т.е. определить количество чистого золота в отходах - определить пробу.

Для этого в слитке просверливают отверстие диаметром 4-5 мм, чтобы получить 1 гр. металлических стружек. Затем к этому грамму сплава золота добавляют 3,5 грамма серебра для понижения пробы золота. и для того, чтобы азотная кислота вступила в реакцию со сплавом. Золотую стружку, полученную от сверления, и кусочки серебра заворачивают в тонкий свинцовый лист (фольга) толщиной 0,2-0,3 мм размером 20x15 мм. Полученный брикет плавят в чашечке, изготовленной из костяной золы при температуре 1100 С. При плавке все примеси переходят в шлак, а свинец абсорбируется в костяную золу (в купель), золото же сплавляется с серебром и остается в тигле в виде королька.

При помощи вальцов полученный корольек необходимо прокатить в тонкую, насколько это возможно, полоску и поместить в 100-мл мензурку. Затем добавляют в мензурку 30 мл 35%-ной азотной кислоты, и нагревают до кипения. Нагревание продолжаем до тех пор, пока химическая реакция не прекратится.

После охлаждения осторожно выливают раствор из мензурки и **добавляют** концентрированный раствор азотной кислоты. Снова нагревают мензурку (обычно 5-10 минут), пока не закипит раствор и не прекратится химическая реакция. **Затем раствор выливают** из мензурки и промывают оставшееся в ней золото дистиллированной водой.

Чистота полученного золота должна быть 99,98% (999,8-я проба). Полученное золото **взвешивают** на точных весах и определяют пробу слитка. Например, если весы показывают 1 гр., это будет соответствовать 1000-ой пробе, если весы показывают 0,585 гр., это соответствует 585-й пробе и т. д.

В настоящее время нет более точного метода определения пробы золота. Он применяется во всем мире, узаконен государственными и международными стандартами (стандарт России – ГОСТ 17235).

Другой способ очистки отходов золота это очистка методом рафинирования.

Очистка золота методом рафинирования связана с применением сильных кислот, поэтому необходимо строгое соблюдение **техники безопасности при работе с кислотами.**

Для удаления выделяющихся при реакции токсичных газов работу по очистке надо проводить в мощных вытяжных шкафах.

Для рафинирования золота используются концентрированные азотная (HNO_3) и соляная (HCl) кислоты. Смешав 1 часть азотной кислоты с 3 частями соляной кислоты, получаем смесь, известную как «царская водка». Во время работы следует надевать резиновые перчатки.

Если кислота попала на кожу, ее надо немедленно смыть водой и нейтрализовать содой или мылом.

Отходы из золота в виде слитка, описанного выше, плавят в графитовых тиглях, а затем медленно выливают в кастрюлю или бак из нержавеющей стали с холодной водой, чтобы получить маленькие дробинки. Или же этот слиток прокатывают на вальцах до получения фольги толщиной 0,2-0,5 мм, которую затем разрезают на маленькие квадратные кусочки. Поместив полученные дробинки (или кусочки) в мензурку, добавляют равное по весу количество «царской водки».

Затем мензурку с раствором нагревают, не доводя до кипения. в течение 3-4 часов, пока не прекратится химическая реакция (**при этом обязательно используют вытяжку!**). Золото и другие элементы находятся в растворенном виде в «царской водке». Золото - в виде треххлористого золота, а серебро выпадает в осадок в виде хлорида серебра.

Полученный раствор охлаждают до комнатной температуры и фильтруют с помощью стеклянной воронки и фильтровальной бумаги. Азотную кислоту, еще оставшуюся в растворе, нейтрализуют с помощью мочевины -- $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – одна чайная ложка на 1 литр раствора. Мочевину надо доливать осторожно и медленно, пока химическая реакция не прекратится.

Золото из раствора «царской водки» извлекается использованием сульфата железа (Fe_2SO_4). Его необходимо добавить в раствор и перемешивать, пока последний не станет темно-зеленым. Когда раствор простоят некоторое время, золото выпадет в осадок на дно мензурки. После этого жидкость сливают, а оставшееся на дне золото промывают горячей водой. Воду затем выпаривают, а полученную кашу из золота коричневого цвета прессуют, а затем плавят, добавляя некоторое количество борной кислоты. Полученное таким образом золото (его проба выше 999,9) заливают в открытую изложницу.

В промышленной практике рафинирования сернистый газ SO_2 пропускают через раствор золота в течение нескольких часов. Золото выпадает в осадок на дно емкости.



Глава 2. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Технологический процесс литья, содержащий стадии от изготовления модели до получения необходимого количества отливок, схематически можно показать в следующем виде (рис. 2.1).

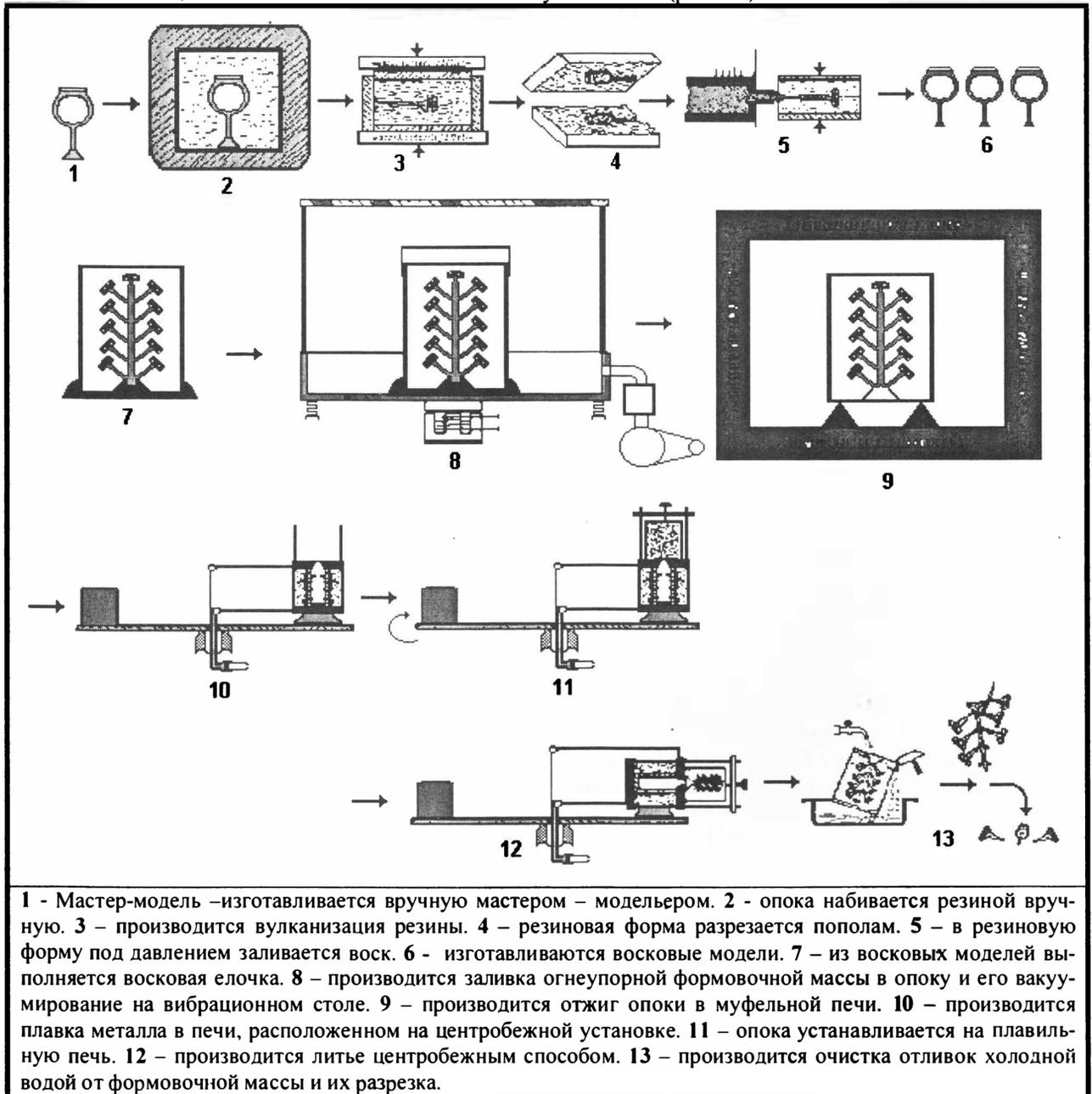
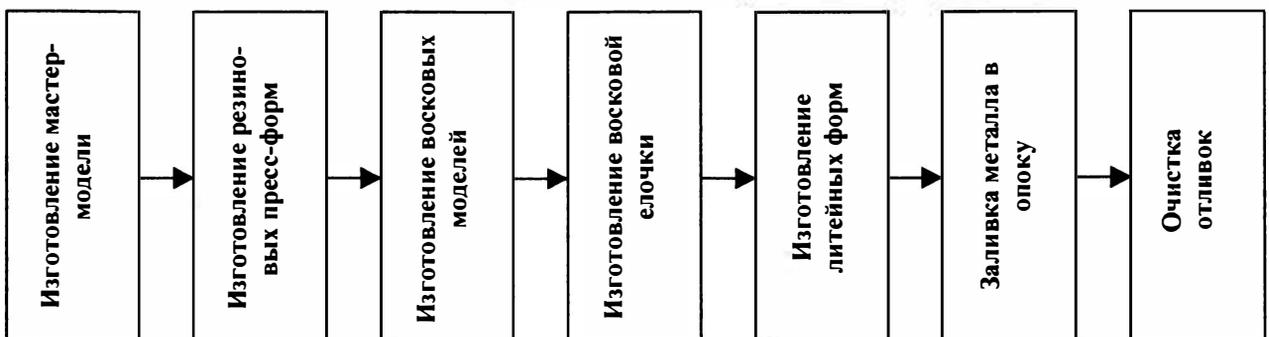


Рис. 2.1. Технологический процесс литья

Технологическую блок-схему литья можно представить в следующем виде. Рассмотрим каждую блок-схему в отдельности.



2.1. Изготовление мастер-модели

Для дублирования ювелирных изделий методом литья необходимо изготовления резиновой пресс-формы и изготовления мастер-модели. Мастер-ювелир лепит из специального модельного воска или изготавливает из металла мастер-модель. Модель, изготовленную из модельного воска, отливают и обрабатывают.

Иногда мастер-модель покрывают гальваническим способом никелем, родием или сплавом «олово-никель». Металл, из которого делают мастер-модель, может быть различным – латунь, медь, золото, серебро,

платина или любой другой твердый металл с температурой плавления более 300°C. Мастер-модель обычно изготавливают вручную, с учетом усадки резины, воска и металла. Нельзя допускать ошибки и неточности при изготовлении мастер-модели, так как, все дублированные изделия будут повторять эти ошибки и неточности.

В состав модельных восков (термопластичных материалов), предназначенных для изготовления мастер-моделей, входят: парафин, щелочной воск, сополимер этилена с винилацетатом и церезин.

В таблице 2.1 приведены свойства термопластичных материалов, подвергаемых механической обработке.

Свойства термопластичных материалов, предназначенных для механической обработки

Таблица 2.1

Модельный воск	T °C	T °C	Вязкость при T=14 °C, Мпа*с	Пенетрация мм
	Каплевания	Затвердевания		
Красный мягкий	73	68	4	2.5
Красный твердый	94	83	1142	0.3
Зеленый	105	96	826	0.1
Синий	105	98	1535	0.2



Рис. 2.2. Заготовки из модельного воска

Пенетрация – это характеристика твердости материалов, определяемая по глубине проникновения иглы при определенной нагрузке.

Термопластичные материалы для резьбы выпускаются, в виде прямоугольных брусков, в форме плиток, в виде прутиков, предварительно отформованных для заготовок колец и т. д. (рис.2.2).

Твердые восковые заготовки можно пилить, сверлить, резать пилкой. Воск можно добавлять или убирать, а также можно обрабатывать, используя гравировальные инструменты. Их можно также обрабатывать бор машиной с гибким валом (рис.2.3).

Существуют множество разнообразных восковых смесей для специального применения. Например, воски для лепки, которые легко можно наплавить на

другие воски; литниковые воски, плавающиеся при меньших температурах, чем модельный воск; мягкие

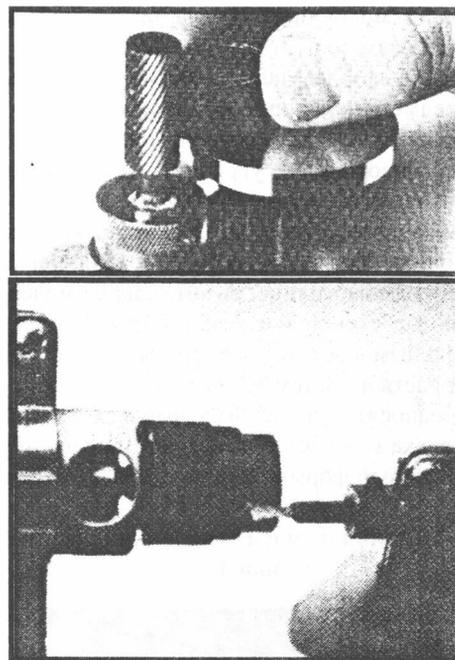


Рис. 2.3. Обработка модельного воска

воски, которые можно формировать и лепить подобно модельной глине; водо-растворимые воски, которые можно использовать для изготовления полых бус или колец.

Если восковую модель с водо-растворимой сердцевинной погрузить в воду, то сердцевина растворяется, оставляя часть модели, сделанную из нерастворимого воска.

Из тонких восковых листов можно вырезать различные фасонные фигуры ножницами, лезвием или

горячим шпателем. Восковые листы, можно раскатать на вальцах в тонкий лист, толщиной 0,4-0,5 мм. Из них можно как листового металла штамповать различные изделия.

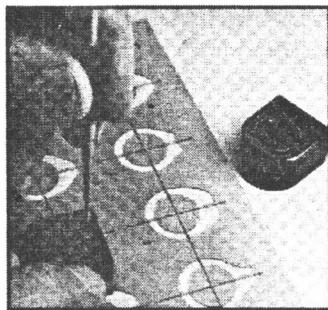


Рис. 2.4. Разметка кольца на модельном воске

Детали, полученные способом штамповки, можно спаивать горячим шпателем или иглой. Тонкие восковые листы можно получить также, наливая жидкий воск на холодное стекло или металлический лист, протертый машинным маслом.

При разливке расплавленного воска остерегайтесь от возможных ожогов!

При изготовлении восковых моделей можно использовать природные материалы, которые полностью выгорают при температуре около 750°C, не оставляя при этом угольных остатков в огнеупорной формомассе. Для этого могут быть использованы присоединенные к восковкам или отдельно листья травы, насекомые, морские коньки, пенополистирол, шерсть и др. Чтобы предметы при присоединении к ним восковок были жесткими и чтобы не повредились при заливке формомассы необходимо укреплять их с помощью лака или фиксатором для волос.

Оригинальные модели можно также изготовить из пластилина. Для этого точную модель сначала воспроизводят на пластилине. Затем вокруг модели делают картонные стенки и слегка покрывают пластилин разделительным составом. В форму сверху наливают гипсовый раствор. Затем пластилин удаляют из формы и кистью наносят на гипс разделитель, состоящий из 1 части шеллака и 3 частей спирта. В полученную негативную гипсовую форму заливают плавленный воск.

2.1.1 Технология изготовления восковых моделей

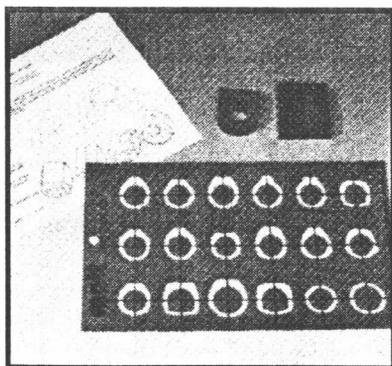


Рис. 2.5. Трафареты для вычерчивания эскизов колец

Приведем некоторые способы изготовления мастер-моделей. Процесс изготовления мастер-модели заключается в подготовке эскизов, чертежей и рисунков ювелирных изделий, которые предполагается изготовить с помощью литья. Например, для изготовления мастер-модели кольца необходимо:

1. Прорисовать эскиз изделия на бумаге карандашом, тушью или красками (рис.2.5 - 2.9).

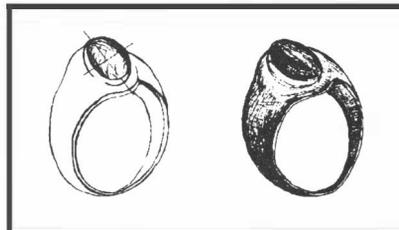


Рис. 2.6. Эскиза кольца

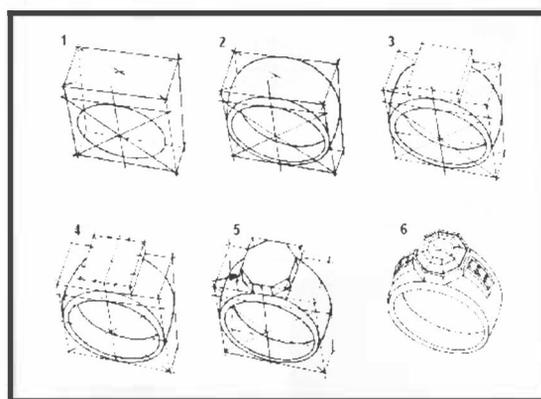


Рис. 2.7. Этапы выполнения эскиза кольца

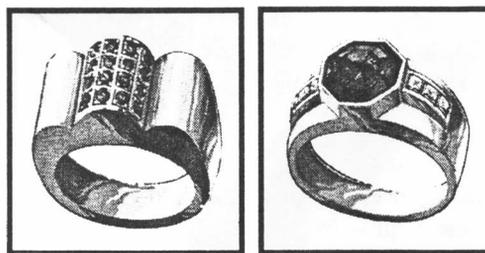


Рис. 2.8. Эскизы колец

2. Определить расчетные размеры деталей кольца и подготовить чертеж кольца по эскизу (рис. 2.6 и 2.10).

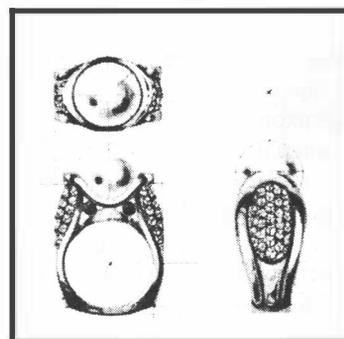


Рис. 2.9. Эскизы колец в трех проекциях

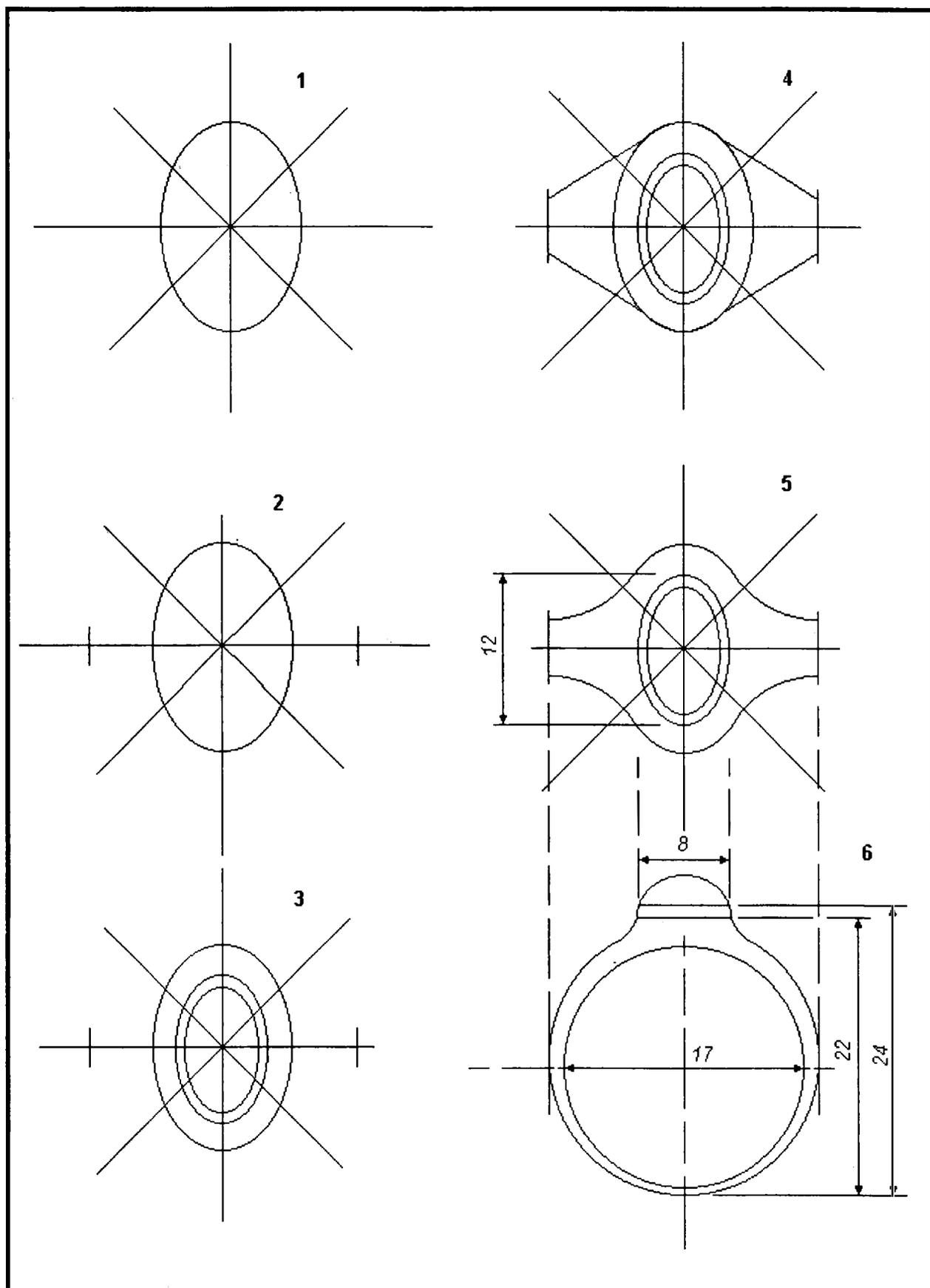


Рис. 2.10. Этапы выполнения чертежа кольца

3. По эскизу и чертежу изготовить ручную восковую модель (рис. 2.11).
4. По готовой восковой модели отливают мастер-модель из металла.

При конструировании мастер-модели из твердого воска необходимы некоторые инструменты. В качестве инструментов для обработки воска могут быть использованы: ювелирные пилки, грубые напильники, различные штихели, зубоорубные инструменты, иглы, электрический нагреваемый шпатель с регулятором температуры, бор машина и т. д. Бритвенное лезвие превосходный инструмент для разрезки листового воска.

Воск хорошо режется, если слегка нагреть инструмент!

Восковые модели для оригинальных колец сначала изготавливают в твердом воске следующим образом. Вырезают из трубки грубую модель воскового кольца. Затем напильником опиливают до нужной формы. Оп-

раву для камня вытачивают при помощи шарового бора. Гнездо для посадки камня вырезают резцом (рис. 2.11). На рис. 2.12 показаны законченные по эскизам восковые модели. На рис. 2.13 показаны готовые изделия, выполненные ювелиром по эскизам.

Таким образом, по готовой восковой модели отливают мастер-модель из золота или серебра (технология литья будет описана далее). Отлитую мастер-модель обрабатывают вручную, используя при этом стандартную ювелирную технику, с учетом возможной усадки. Модель затем тщательно отполировывается и покрывается родием или никелем для получения гладкой резиновой формы (рис. 2.14).



Рис.2.11. Процесс изготовления восковой модели из заготовки

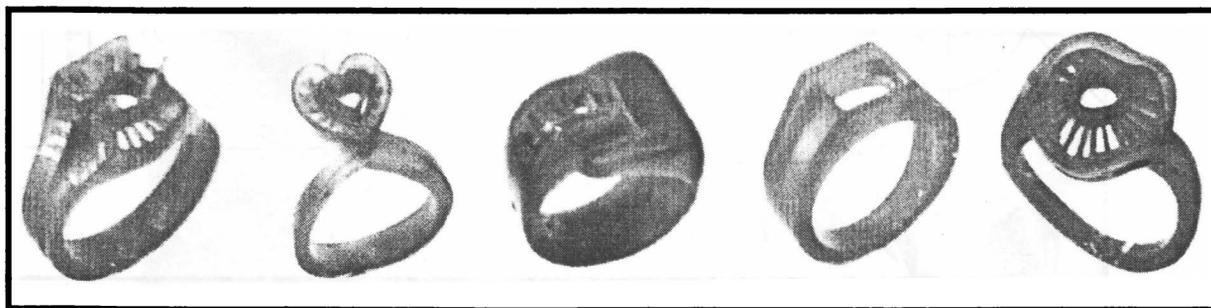


Рис. 2.12. Законченные по эскизам восковые модели

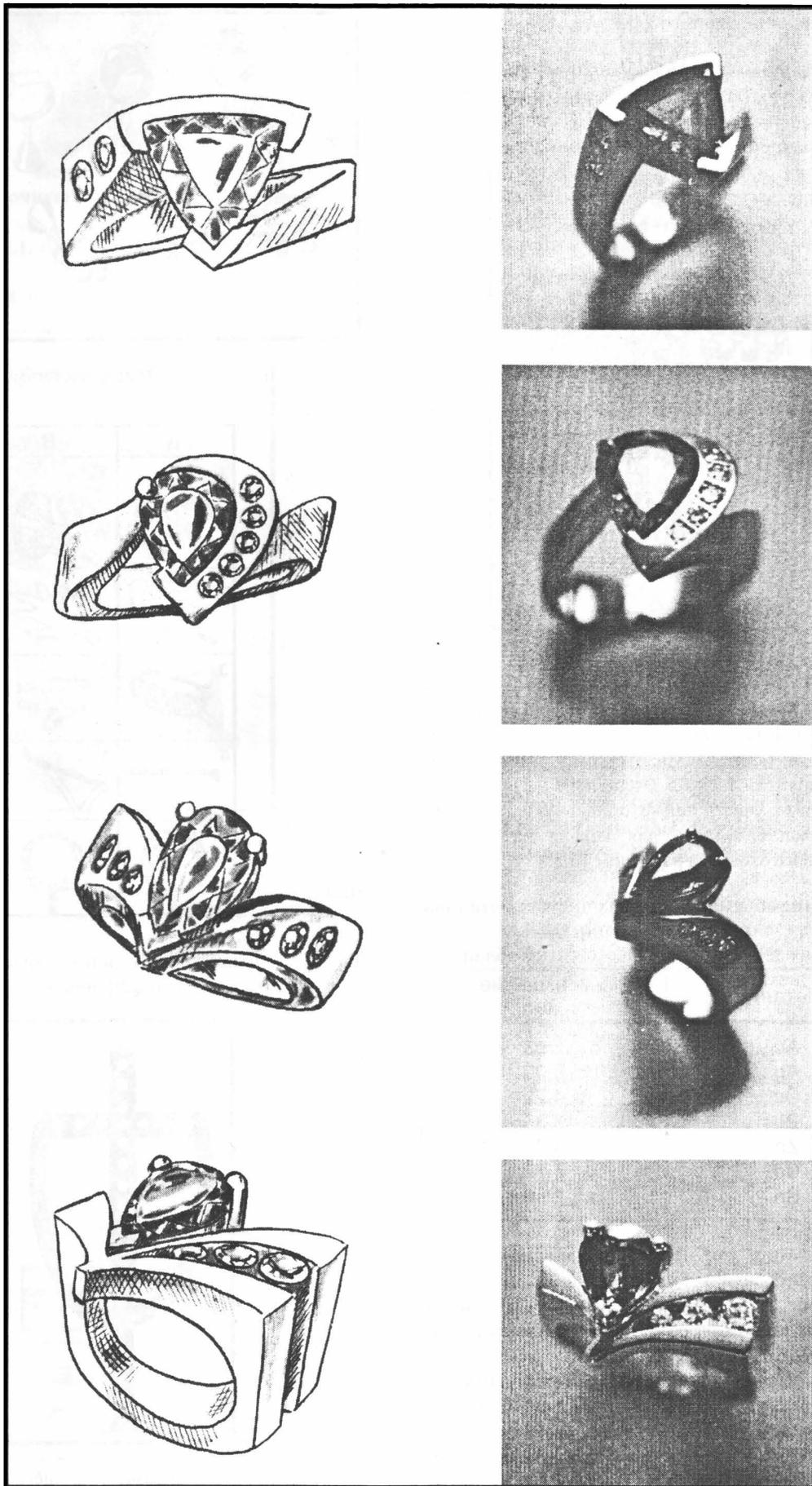


Рис. 2.13. Эскизы и выполненные по ним кольца

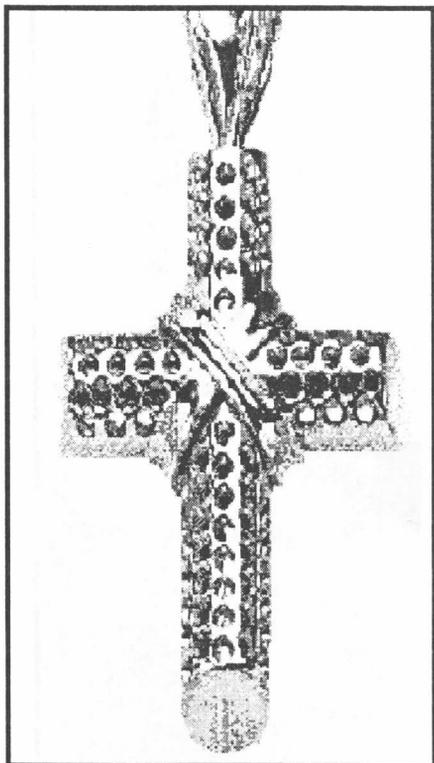


Рис. 2.14. Мастер-модель креста

Мастер-модель должна быть толще (обычно на 10 %), чем готовое ювелирное изделие, которое мы должны получить, чтобы учесть усадку резины порядка 2-3 % и золота - 1,25-1,5 % (таблица 2.2). Кроме того, необходимо учесть также опиловку и полировку. Например, мастер-модель для кольца размером 16 должна быть изготовлена размером 16,5.

Уменьшение объема некоторых чистых металлов при затвердевании

Таблица 2.2

Металл	Уменьшение объема, %
Au	5,03
Ag	5,00
Cu	4,25
Pb	3,38
Zn	4,70
Cd	4,72
Sn	2,90

После того, как изготовлена мастер-модель, к ней припаивают литниковый стержень диаметром от 2 до 3,5 мм (рис. 2.15). Концы литниковых стержней делают в форме конуса по размеру, подходящей к концу сопла инжектора.

Литниковая система должна обеспечить правильное распределение воска, и в конечном итоге, металла к различным частям отливки, не допустив при этом разрушения формы, а также завихрения при движении металла по литниковой системе.

Для того, чтобы обеспечить приток воска к различным точкам модели, изготавливают разветвляющиеся литники (рис.2.16 В).

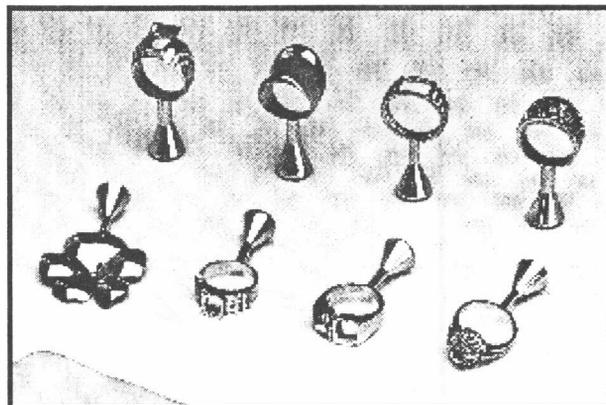


Рис. 2.15. Готовые мастер-модели



Рис. 2.16. Правильное (В) и неправильное (А) соединение литников

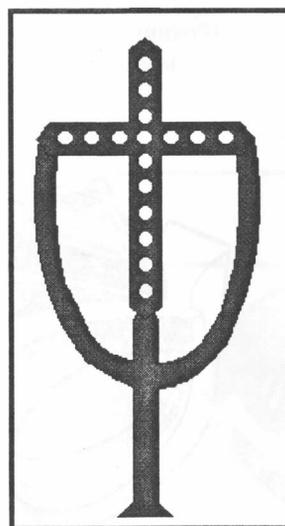


Рис. 2.17. Схема разветвляющегося литника



2.2. Изготовление резиновых пресс-форм

Для получения резиновой пресс-формы необходимо иметь следующее оборудование и материалы: мастер-модель; вулканизационный пресс; формовочную резину; металлическую прямоугольную обойму (формовочную опоку); формовочный нож.

2.2.1. Вулканизационный пресс

На рис 2.18. показан вулканизационный пресс.

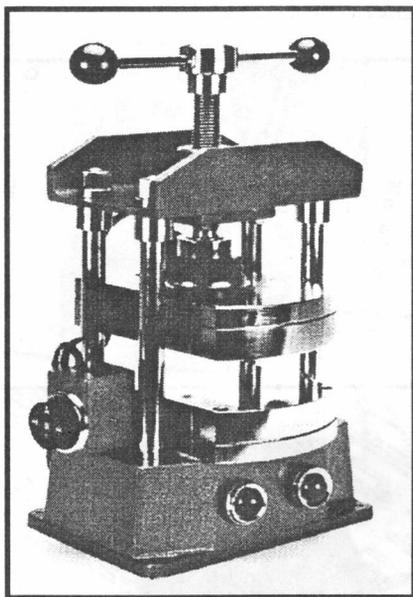


Рис. 2.18. Вулканизационный пресс

Схема пресса показана на рис. 2.19. Он состоит из винтовой пары с маховиком (1) двух нагревательных плит (2) и системы терморегулирования (3). Пресс предназначен для вулканизации сырой резины, которую устанавливают между двумя нагретыми плитами.

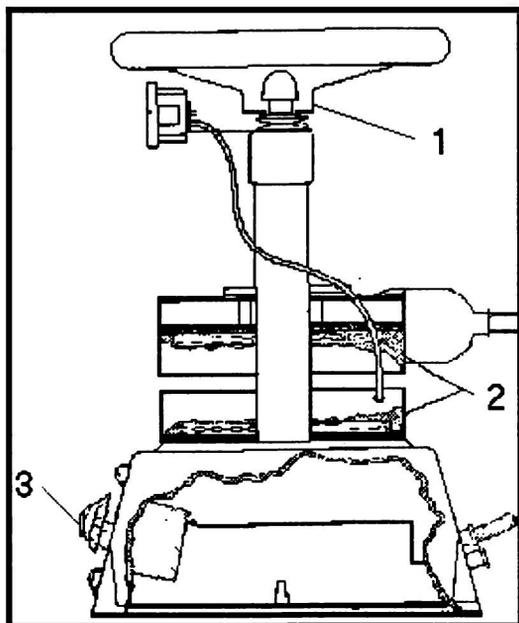


Рис. 2.19. Схема вулканизационного пресса

2.2.2. Ювелирная модельная резина

Модельная резина, используемая для изготовления пресс-форм, не должна вызывать коррозию мастер-модели, прилипать к модельному составу и должна обладать хорошими эластичными свойствами. Резины для изготовления пресс-форм бывают каучуковые и силиконовые. Кроме того, они подразделяются на усадочные и безусадочные и отличаются друг от друга по цвету.

Ниже приведены характеристики некоторых типов резин, которые имеются в продаже.

1. Желтая каучуковая резина марки Castaldo Gold Label и Castaldo White Label.

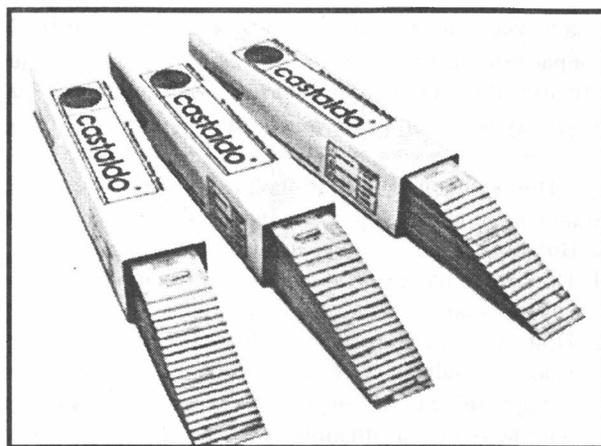


Рис. 2.20. Каучуковая белая (Castaldo White Label), желтая (Castaldo Gold Label) и безусадочная розовая (Castaldo No Shrink Pink) резины

Каучуковая резина Castaldo - самая распространенная модельная резина, которая дает превосходные результаты при изготовлении очень сложных мастер-моделей (рис. 2.20). Температура вулканизации этой резины 153°C из расчета 7 минут на каждые 3,2 мм толщины слоя резины.

Обычно резина Castaldo хорошо обтекает даже самые сложные, с большим числом мелких элементов внутренние детали модели. Если этого не происходит, рекомендуется уменьшить температуру вулканизации до 143°C и удвоить время вулканизации. Это увеличивает время выдержки резины в условно-жидком состоянии. Плохая текучесть резины также может быть следствием высокой температуры вулканизации.

2. Безусадочная каучуковая розовая резина Castaldo U.

Розовая модельная безусадочная резина позволяет получить восковки с величиной усадки 0%. Для получения восковок с нулевой усадкой необходима точная установка температуры вулканизатора. Температура вулканизации равна 154°C из расчета 7,5 минуты на каждый слой резины.

Методика работы, подготовка, хранение и чистка этой резины идентичны с аналогичными процедурами для модельных резин Castaldo Gold Label и Castaldo White Label. Но при этом исключительное

внимание нужно уделять точности установки температуры вулканизатора.

Перед тем, как использовать резину, необходимо убедиться в реальных показаниях вашего вулканизатора.

Самый простой метод проверки температуры верхней и нижней пластин вулканизатора - это положить деревянный брусок между пластинами и измерить температуру с помощью точного стеклянного или металлического термометра между бруском и верхней пластиной, а затем между бруском и нижней пластиной. Если температуры пластин сильно различаются, то при вулканизации можно попытаться уравновесить температурную экспозицию путем извлечения резиновой формы из пресса и ее переворачиванием в середине процесса. Если и при таком режиме наблюдается усадка, надо увеличивать температуру вулканизации на 2-3 °С в расчете на то же время, до тех пор, пока не будет достигнут приемлемый результат. Рекомендуется настроить вулканизатор на температуру от 154 °С до 177 °С.

При вулканизации розовой безусадочной резины Castaldo возможны дефекты: скручивание и коробление. Возможны два способа устранения этих дефектов:

1. Положить на готовую форму груз (например, книгу) и оставить на несколько часов.
2. При вулканизации резины использовать технологию «сэндвича», т. е. использовать в середине и вокруг модели розовую безусадочную резину, а для верхних и нижних слоев - обычные Gold Label или White Label, и вулканизировать всю форму целиком с соответствующими температурой и временем.

Частичное обесцвечивание и появление пузырей считается нормальным явлением при таких температурах. Если получаются неприемлемые или нестабильные результаты, такие как "мягкая" или "липкая" резина, большие пустоты, точечные дырочки, пузыри и т. д., необходимо снижать температуру вулканизации на 2-3 °С в расчете на то же время, пока эти технологические проблемы не исчезнут.

Розовая безусадочная резина при вулканизации изменяет свой цвет в зависимости от температуры и от времени вулканизации. По цвету резины можно судить о степени ее вулканизации.

Если цвет **малиновый**, то вулканизатор холодный; **розовый** - нормальная температура; **коричневый по краям** - вулканизатор перегрет; **коричневый внутри** - вулканизатор горячий.

3. Силиконовая ярко-желтая резина 4X.

Силиконовая резина 4X является мягкой и в то же время сверхпрочной на разрыв резиной. Она применяется при изготовлении очень сложных мастер-моделей. Время, необходимое для вулканизации определяется исходя из расчета 15 минут на один слой резины толщиной 0,35 мм. (например, три слоя - 45 минут). Температура вулканизации 165-177 °С, максимальная кратковременная температура вулканизации 260 °С, коэффициент усадки 2,8 %.

4. Серая силиконовая резина MRC-250.

Серая силиконовая резина обладает хорошей пропускной способностью для инъекционных мате-

риалов (воск). Резиновая форма хорошо и быстро рассеивает тепло, обеспечивая меньшее время каждого цикла впрыскивания воска. Силиконовая резина MRC-250 обладает хорошей текучестью и, расширяясь при вулканизации, сама создает дополнительное давление. Поэтому давление винта вулканизатора должно быть снижено (примерно в 20 раз меньше обычного давления). Температура вулканизации MRC-250 составляет 164 °С. Резину толщиной 25 мм вулканизируют около 1-го часа. Не рекомендуется увеличивать продолжительность вулканизации более чем на 30%.

5. Силиконовая резина Castaldo желтого и красного цвета (рис. 2.21).

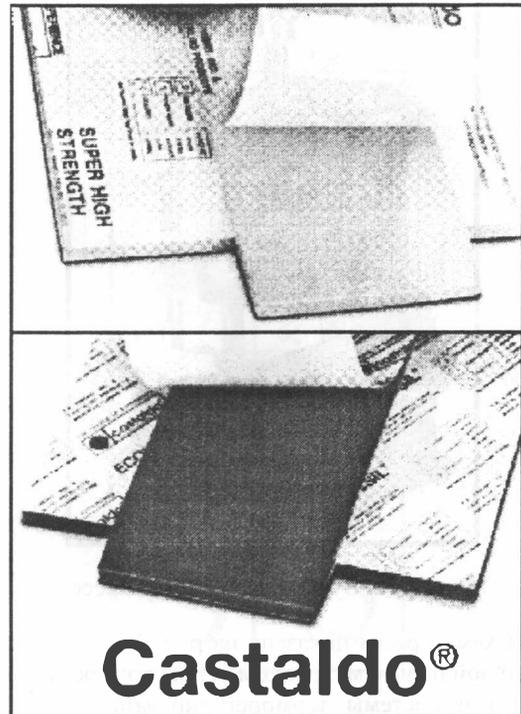


Рис. 2.21. Силиконовая резина Castaldo

Силиконовая резина Super High Strength -это резина с исключительной износостойкостью и долговечностью среди подобных силиконовых резин. Температура вулканизации резины 165-177 °С из расчета 15 минут на каждый слой. **Нельзя смешивать силиконовую резину Castaldo с каучуковой резиной Castaldo**, так как они имеют различные химические основы, и не могут соединяться между собой.

Силиконовая резина Castaldo Econosil имеет кирпично-красный цвет, хорошую износостойкость и низкую цену.

6. Силиконовая резина BENBASSATINT.

Эта резина дает около 1% усадки. Температура вулканизации 140 °С, время вулканизации от 10 до 15 мин в зависимости от толщины (20-25 мм).

Внимание! Во время вулканизации силиконовых резин пахучие испарения могут вызвать раздражение глаз и слизистой оболочки носа. При работе с ними необходимо проветривать помещение. Желательно использовать вытяжку.

2.2.3. Формовочные опоки, формовочный нож и держатель для пресс-форм

Прямоугольная обойма (формовочная опока, рама) изготавливается в разборном и цельном вариантах из легкого металла, например, алюминия. Размеры отверстий опок могут быть различными в зависимости от формы мастер-модели. Кроме того, формовочная опока должна иметь широкие стенки, чтобы не ломалась при давлении вулканизатора. На рис. 2.22 показаны цельные формовочные опоки, изготовленные из алюминия.

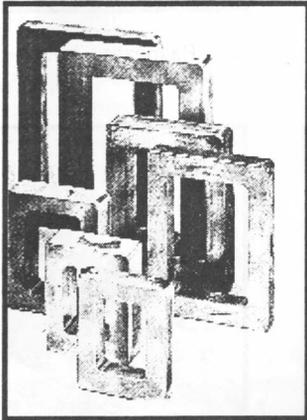


Рис. 2.22. Формовочные опоки

Для толстых колец прямоугольное отверстие имеет следующие размеры: 48x73 мм, высота - 32 мм. Для тонких колец высоту можно принять около 15 мм.

Вулканизационная сборная рама (рис. 2.23) изготавливается так, чтобы его можно было быстро собрать и легко разобрать после вулканизации. При этом должна обеспечиваться достаточная герметичность при вулканизации сырой резины. На рисунке 2.24 показана схема вулканизационной рамы в сборе.

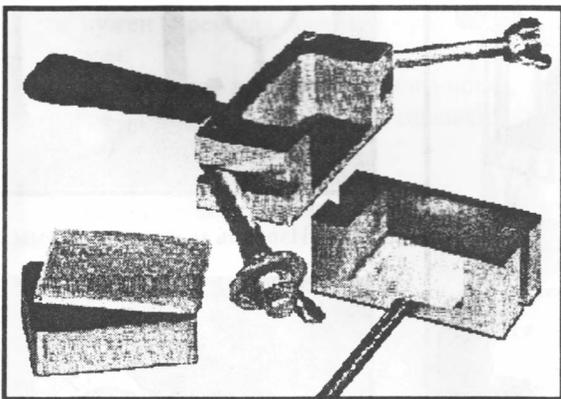


Рис. 2.23. Разборная вулканизационная рама

Формовочный нож – это нож с лезвиями хирургического типа со стальной или пластмассовой ручкой, в которой имеются пазы для закрепления съемных лезвий (рис.2.25). Для разрезки формы применяют три типа лезвий – прямые заточенные с одной стороны, прямые заточенные с двух сторон и кривые. После разрезки двух резиновых форм лезвия обычно тупеют. Их

затачивают на Арканзасском камне и доводят на кожаном ремне.

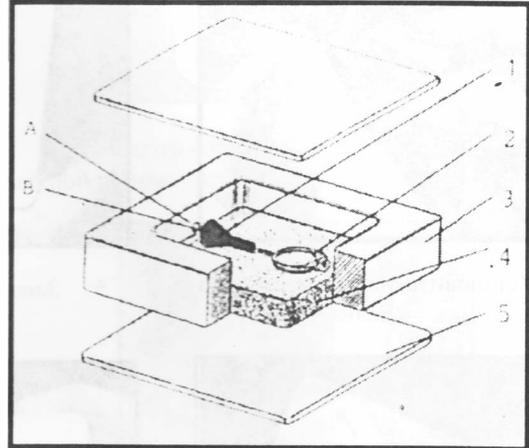


Рис. 2.24. Схема вулканизационной рамы
1-литник; 2-модель; 3- вулканизационная рама; 4-сырая резина; 5-металлические пластины.

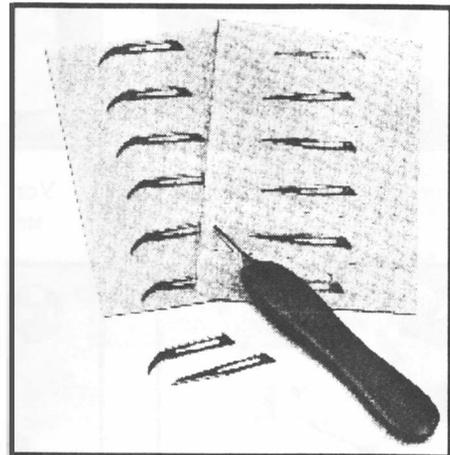


Рис. 2.25. Формовочные ножи

Держатель (рис.2.26) используется при разрезке резиновых пресс-форм. Он изготовлен из алюминия и имеет форму бельевой прищепки с острыми зубцами. Они крепко схватывают резину, что позволяет оттягивать ее при разрезке.

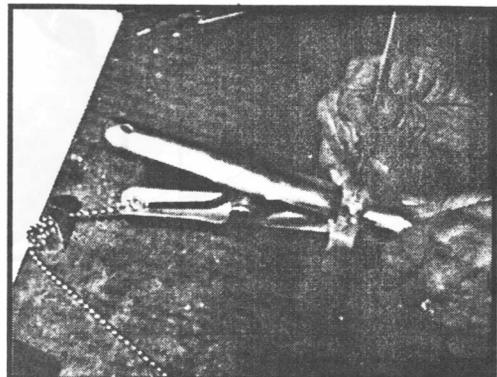
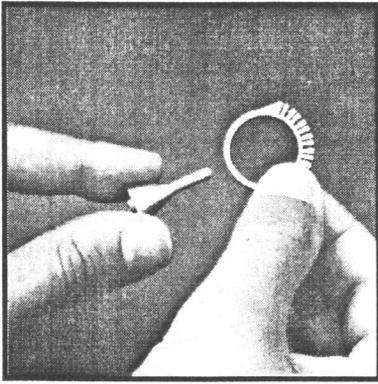
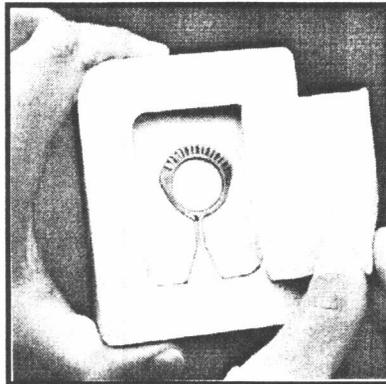


Рис. 2.26. Держатель для пресс-форм

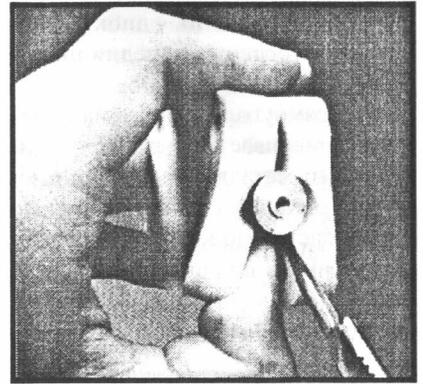
2.2.4. Схема изготовления резиновых пресс-форм из силиконовой резины



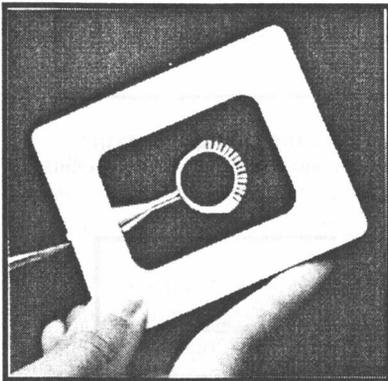
1. Установить литник мастер-модели.



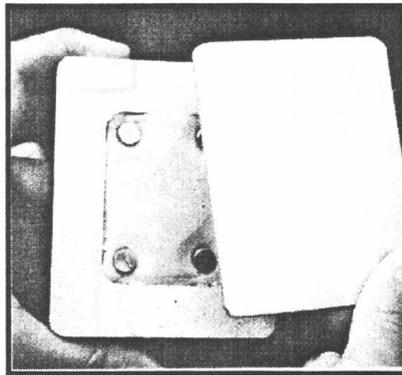
5. Заполнить опоку резиной.



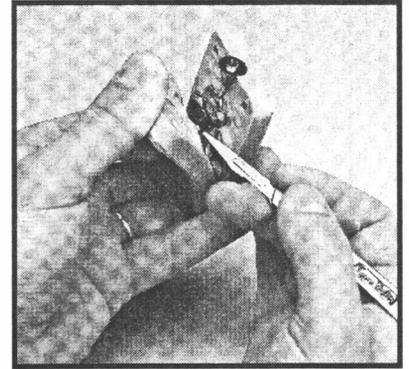
8. Разрезать пресс-форму на две части.



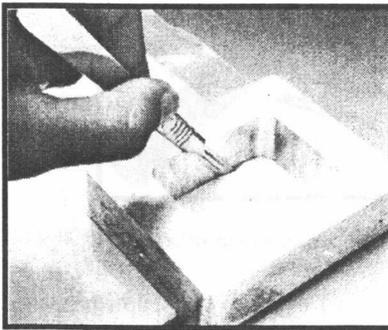
2. Закрепить мастер-модель в опоку.



6. Установить опоку между двумя металлическими пластинами.



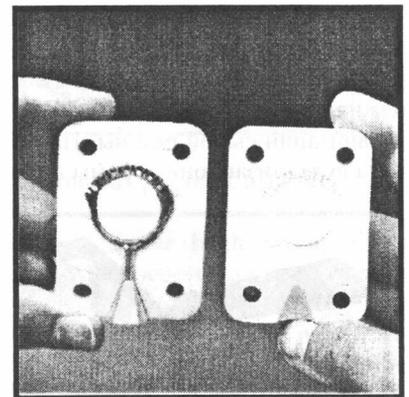
9. Разрезать резину, начиная от литниковой воронки.



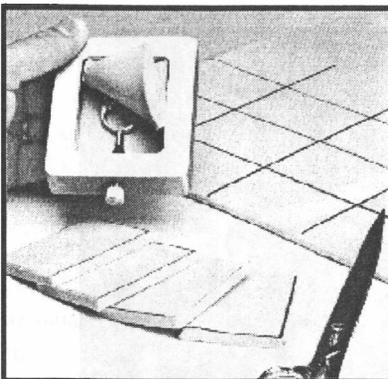
3. Разметить заготовки сырой резины.



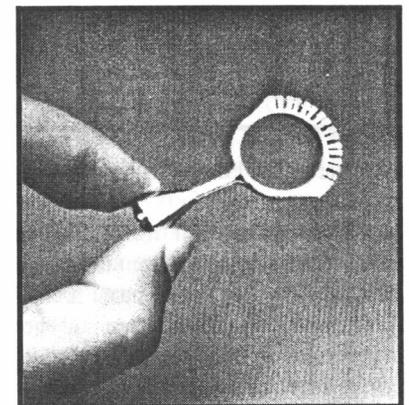
7. Вулканизировать в течение 30-90 минут в зависимости от толщины, при температуре 165-177°С.



10. Извлечь модель из формы.



4. Нарезать заготовки из сырой резины.



2.2.5. Схема изготовления резиновых пресс-форм из двухкомпонентной силиконовой резины CASTALDO Quick-Sil™

Двухкомпонентная силиконовая резина вулканизируется при комнатной температуре и дает гибкие, прочные на разрыв формы с нулевой усадкой.

Это резина проста в применении, так как нет необходимости точно отмерять или вакуумировать компоненты для достижения оптимального результата.

Нельзя перемешивать компоненты слишком долго, потому что смесь может затвердеть. Общее время процесса подготовки смеси, и формования не должно превышать 4-х минут. Время застывания - около 15-ти минут.

Так как эта резина дает окончательную пресс-форму за очень короткое время (15 минут), то и рабочее время тоже очень короткое (4 минуты). Поэтому надо быстро проводить смешивания компонент, чтобы не превысить рабочее время.

Если на резиновой пресс-форме будут перегибы или линии разделения, то это значит, что превышено рабочее время, и резина застыла до того как форма была полностью заполнена.

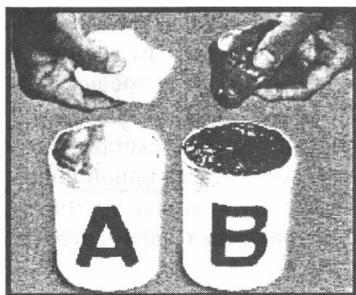
Скорость застывания этой резины зависит от незначительных температурных изменений. Поэтому **теплые руки** будут сокращать рабочее время и время застывания, а **холодные руки** - наоборот.

При помещении резины в холодную рамку время застывания будет увеличиваться. Поэтому рекомендуется **подогреть рамку до 30°C** перед началом процесса.

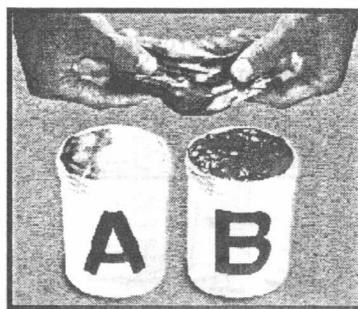
Двухкомпонентная силиконовая резина по сравнению с другими имеет следующие преимущества:

- нет необходимости точно отмерять компоненты;
- нет жидких компонентов;
- не надо долго ждать для работы с готовой формой;
- не нужен вулканизатор;
- нет необходимости вакуумировать;
- не нужен спрей для восковок - резина само смазываемая;
- рассчитана как для инжекторного воска, так и непосредственного литья легкоплавких металлов (олова, цинка и пр.).

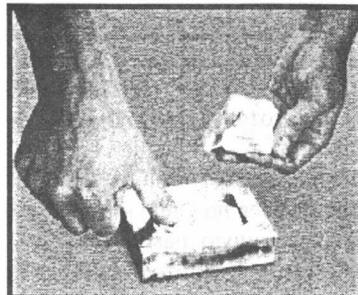
Ниже приведена схема изготовления резиновых пресс-форм.



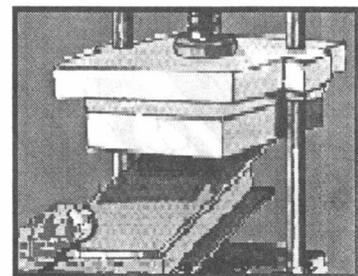
1. Взять примерно равные части компонент **A** и **B**.



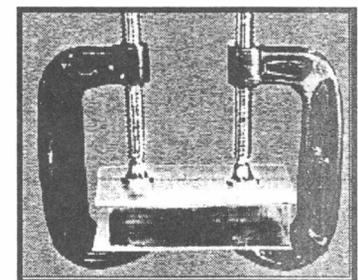
2. Смешать компоненты **A** и **B** руками до равномерной по цвету консистенции.



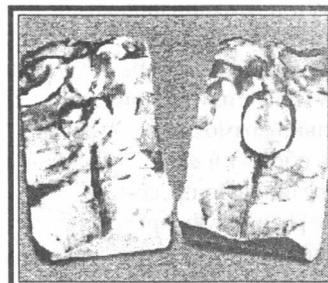
3. Поместить смешанную резину в рамку, вдавить в нее мастер-модель и покрыть его еще одним слоем этой же резины.



4. Установить рамку между двумя металлическими пластинами и поместить под пресс.



Вместо пресса можно использовать струбцины.



5. Разрезать резину и извлечь модель из формы.

2.2.6. Схема изготовления резиновых пресс-форм из сырой каучуковой резины



Рис. 2.27. Заготовки сырой каучуковой резины и готовая пресс-форма

Резиновая пресс-форма из сырой каучуковой резины изготавливается по следующей схеме:

1. Взять формовочную раму. Нарезать заготовки из сырой резины. Удалить ткань с прямоугольных кусков формовочной резины, очистить резину тряпочкой намоченной в бензине и заложить части заготовки в обойму (рис.2.27).

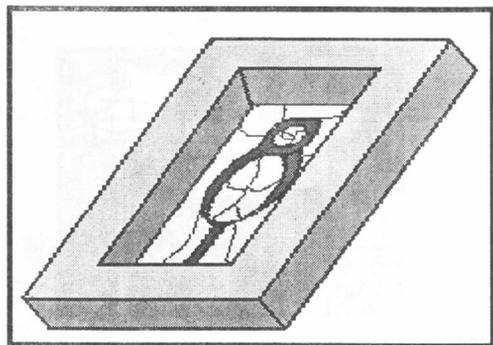


Рис. 2.28. Мастер-модель, обложенная кусочками сырой резины

2. Поместить металлическую модель с летником в раму и заполнить внутренние полости модели кусочками сырой резины (рис.2.28).
3. Положить заготовленные полоски резины на модель и еще дополнительно одну полоску, для обеспечения достаточного количества резины для затекания во все щели модели.
4. Прогреть плиты вулканизационного пресса до температуры 154°C.
5. Установить опку между двумя алюминиевыми пластинами и вулканизировать в течение 45-90 минут в зависимости от толщины обоймы (из расчета 15 мин. на каждый слой резины толщиной 6,35мм). Первые 8 минут плиты прижимать слегка, а затем с максимально возможным усилием.
6. Охладить обойму в ванне с холодной водой.
7. Извлечь резиновую пресс-форму из обоймы.
8. Разрезать резиновую пресс-форму на две части и извлечь модель. При резке удобно удерживать резиновую форму в тисках.

Чтобы определить, достаточно ли вулканизовалась сырая резина, надо оторвать кусок выдавившейся из рамы резины и опустить ее в холодную воду. Если она после этого не разрывается, а растягивается как обычная резина, то вулканизация произошла надлежащим образом.

Примечание: Во время вулканизации плиты повторно не сжимать!

2.2.7. Изготовление резиновых пресс-форм в мастерских

В ювелирных мастерских, где нет вулканизатора, резину можно вулканизировать, зажимая раму между двумя алюминиевыми плитами с помощью струбцин (рис. 2.29).

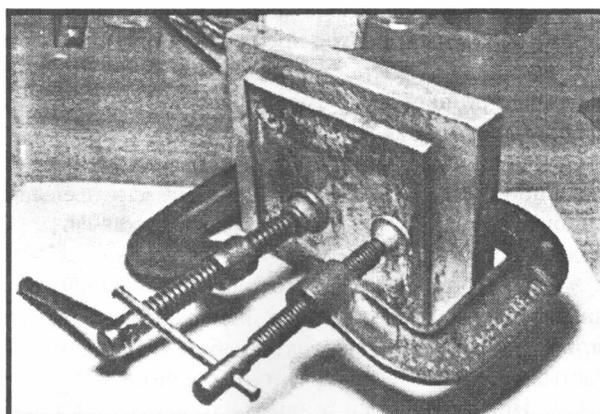


Рис. 2.29. Вулканизационная рама, прижатая струбцинами

Вулканизационную раму в сборе со струбцинами и плитами нагревают в духовке газовой (электрической) печи или в муфельной печи, где установлены регулятор температуры.

Струбцины должны быть затянуты до начала вулканизации. Вместо струбцин можно использовать небольшие тиски. В этом случае раму с алюминиевыми пластинами зажимают в губках тисков и нагревают, как сказано выше.

2.2.8. Разрезка резиновых пресс-форм

Существуют различные способы разрезки резиновых пресс-форм. Приведем некоторые из них.

Четырехзамковая разрезка. При разрезке формы этим способом, сначала прямым лезвием делают надрез глубиной 2-3 мм по середине кромок резиновой формы.

Затем вырезают кривым лезвием четыре замка в пресс-форме, чтобы не было смешения двух ее половинок при получении восковых моделей.

Квадратные замки представляют собой углубления размерами 9x9x5 мм на одной половине формы и соответствующие выступы на другой половине. Они располагаются на углах прямоугольной резиновой формы (рис. 2.30).

Разрезку резиновой формы начинают с литниковой воронки (рис. 2.31).

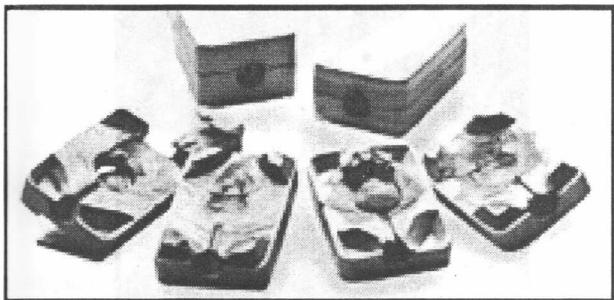


Рис. 2.30. Четырехзамковые разрезанные резиновые пресс-формы

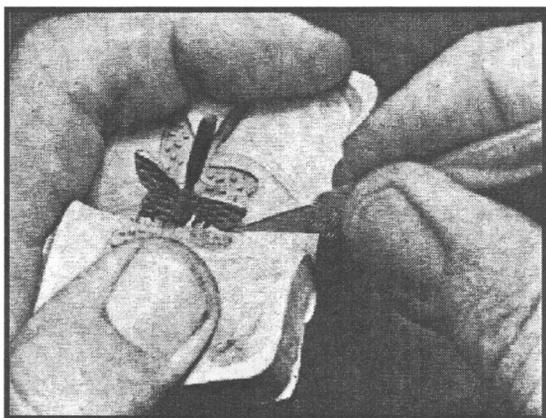


Рис. 2.31. Разрезка резиновой пресс-формы

Зигзагообразная разрезка. В некоторых случаях резиновую пресс-форму разрезают зигзагообразно. При этом две половинки, получившиеся при разрезке, должны стать на свои места без смещений. Для этого в резиновой форме вырезаются волнистые надрезы по середине кромок следующим образом.

Сначала прямым формовочным лезвием от литника по центру вокруг делают волнистый надрез глубиной 4-5 мм. Используя тиски и другие приспособления, прямым или кривым лезвием эти надрезы углубляют до металлической модели (рис.2.28). Резиновую форму разрезают, начиная от литниковой воронки вниз вдоль вертикального литника до модели и затем от модели к наружным краям резиновой формы.

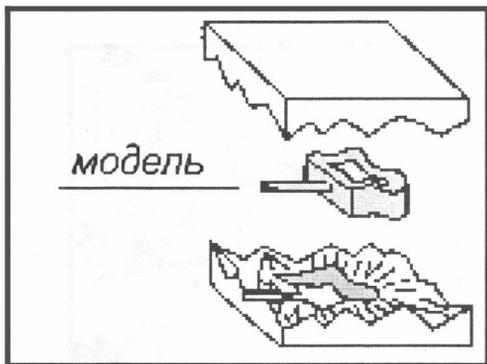


Рис. 2.32. Зигзагообразная разрезка пресс-формы

Разрезка пресс-формы с металлическими шипами. Для устранения смещения половинок формы иногда применяют металлические шипы (рис. 2.33).

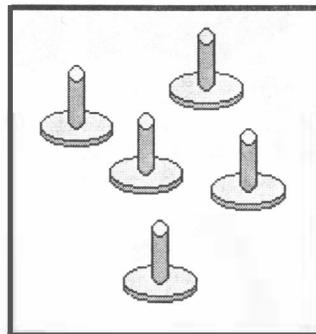


Рис. 2.33. Металлические шипы для пресс-форм.

При этом используется следующая технология. На заготовке сырой модельной резины делают отверстия диаметром 3-4 мм (рис. 2.34-1), в которые затем укладывают шипы (рис. 2.34-2).

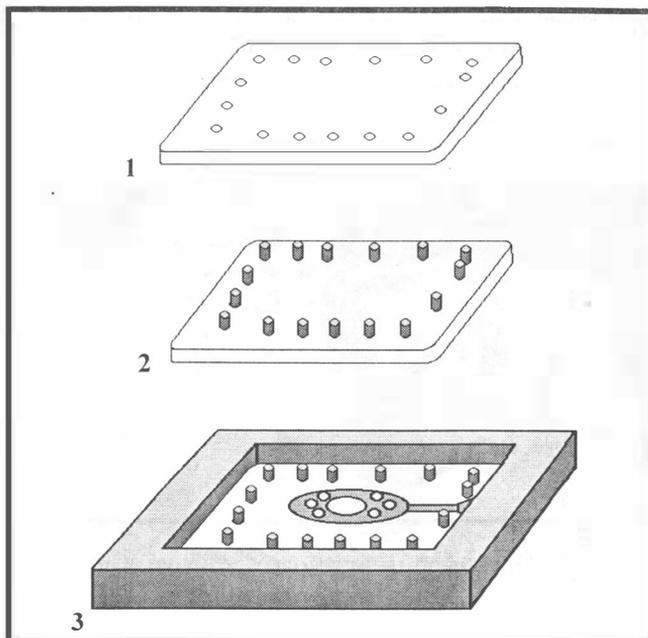


Рис. 2.34. Укладка металлических шипов в резину.

Их укладывают по окружности или по краям прямоугольной формы с таким расчетом, чтобы они выступали на 4-5 мм и не касались, мастер - модели. Заготовки сырой модельной резины укладывают в металлическую опоку (рис.2.34-3). Мастер - модель помещают на приготовленный слой резины и укладывают остальные заготовки сырой резины сверху модели. Для лучшего отделения половинок пресс - формы после вулканизации необходимо резину с шипами при закладке в обжим по плоскости разреза. Полученную полосу с шипами разрезают.

Разрезка пресс-формы с резиновыми шипами. При изготовлении резиновых пресс-форм в некоторых случаях используют вкладыши с шипами из жесткой резины. Вкладыши можно приобрести в специализированных магазинах или изготовить самим.

Для изготовления шипов в специальной металлической форме с углублениями цилиндрической формы диаметром 8-10 мм вулканизируют полосу из сырой резины толщиной 10-15 мм.

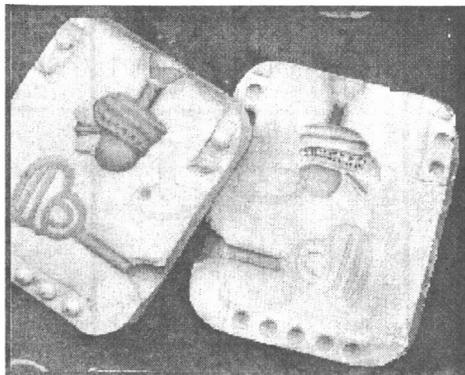


Рис. 2.31. Пресс-форма с резиновыми шипами

Для этой цели можно применить сырую резину, используемую при ремонте автомобильных камер. При получении пресс-формы в прямоугольной раму укладывают несколько слоев сырой резины, а шипы при этом необходимо располагать в середине этих слоев вокруг мастер-модели.

При закладке вкладышей в пресс-форму их необходимо просыпать тальком для лучшего отделения половинок.

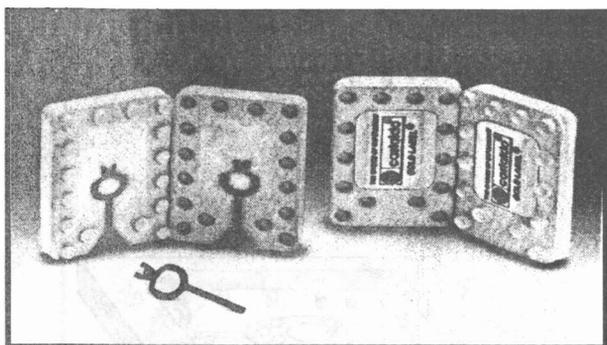
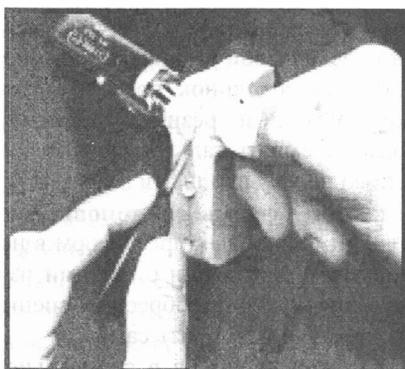


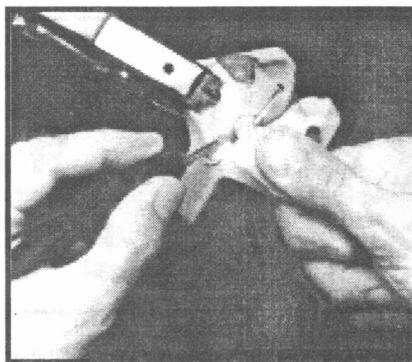
Рис. 2.31. Пресс-формы из готовых резиновых шипов

2.2.9. Пример разрезки резиновой пресс-формы

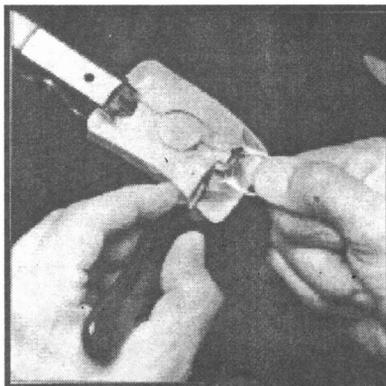
Сначала прямым формовочным лезвием делают надрез глубиной 2-3 мм. По середине кромок всей резиновой формы. Дальнейшие этапы разрезки приведены на рисунках.



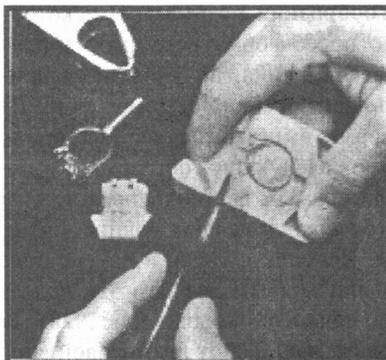
1. Оттягивая одну из половинок разрезать резиновую форму, начиная с одного из углов.



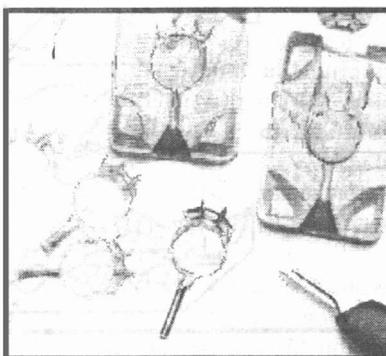
2. На углах резиновой формы вырезать четыре замка.



3. Осторожно освободить модель кольца от резины.



4. Сделать несколько надрезов, начиная от модели, к краям формы.



5. Разрезанная пресс-форма с восковыми моделями.



2.3. Литье воска под давлением

Воск можно нагнетать в резиновую пресс-форму при помощи воскового инжектора (рис.2.35). Инжектор предназначен для расплавки воска и заполнения резиновых пресс-форм.

Все литейные воски достаточно твердые и при нагревании до 700°C полностью сгорают. Кроме того, они имеют низкую температуру плавления ($63-74^{\circ}\text{C}$), быстро и плавно охлаждаются. Они достаточно гибкие и легко вытаскиваются из резиновой формы, сохраняя при этом первоначальную форму после деформации. Температура заливки инжекционного воска должна быть в интервале $63-74^{\circ}\text{C}$.

2.3.1. Восковой инжектор

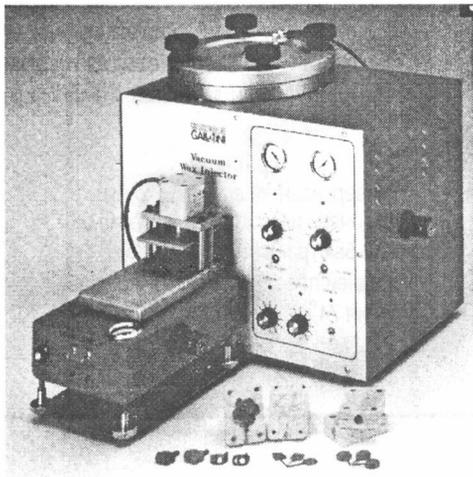


Рис. 2.35. Восковой инжектор

Восковой инжектор (рис. 2.35-2.36) состоит из сопла 1, вентиля для выпуска воздуха 2, манометра 3, прижимного винта 4, штуцера для подвода сжатого воздуха 5, резервуара для воска 6, внешнего резервуара-корпуса 7, воска 8, трансформаторного масла 9, и электронагревателя 10.

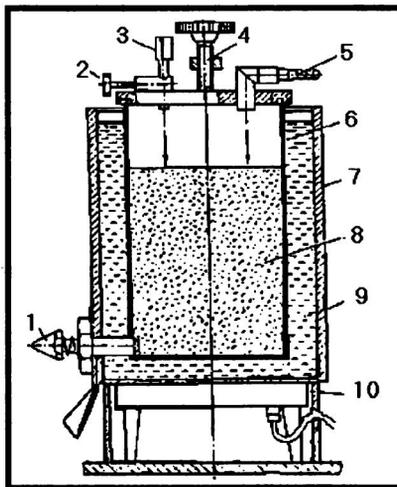


Рис. 2.36. Схема воскового инжектора

Для повышения качества изготовления восковых моделей, многие процессы в инжекторе автоматизированы. Такие инжекторы снабжены автоматическими приставками для запрессовки модельного состава в резиновые пресс-формы (рис. 2.35).

Литейщик один раз обрабатывает режим заполнения воском полости пресс-формы. Все последующие процессы, включающие в себе сжатие половинок пресс-формы, доставку ее к соплу, центровку, заполнение, выполняются автоматически. Кроме того, это установка оборудована вакуумным блоком, с помощью которого в пресс-форме можно создать разрежение. Разборка и извлечения восковых моделей производится вручную.

Если нет инжектора, можно использовать многогоразовый медицинский шприц. Воск растапливают в стакане, установленном на печке (при этом важно не перегреть воск) и набирают в шприц (рис. 2.37). В одной руке зажимают резиновую форму между двумя пластинами, а другой рукой в перчатке вставляют сопло шприца в литниковый канал формы и вдавливают большим пальцем воск в форму.

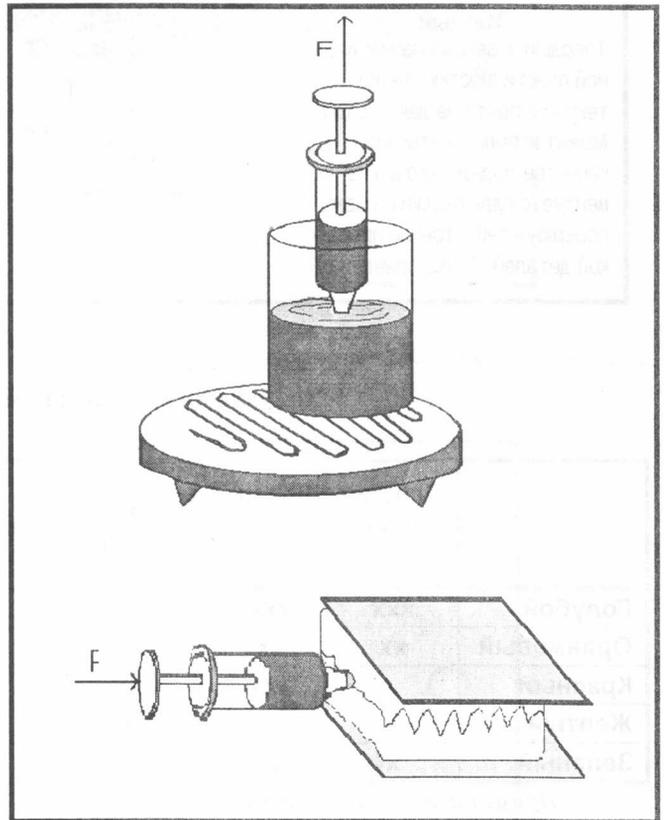


Рис. 2.37. Изготовление восковок с помощью шприца.

2.3.2 Инжекторные воски

Сырьем для изготовления восков являются воски различных марок выпускаемых в плитках и гранулах, различающийся по свойствам и по цвету (рис. 2.38). Имеются большое количество ювелирных инъекционных восков, используемых для изготовления одноразовых восковых моделей. В нашей промышленности широко используется воск, в состав которого входят парафин (наполнитель), шеллачный воск (упрочнитель), сополимер этилена с винилацетатом (пластификатор) и быстрорастворимый краситель. На нашем рынке широкое распространение получили импортные инъекционные воски фирм **CASTALDO® SuperCera®** и **FERRIS®**. Основные свойства инжекторных восков для ювелиров различных цветов фирмы **CASTALDO® SuperCera®** приведены ниже (табл. 2.3).

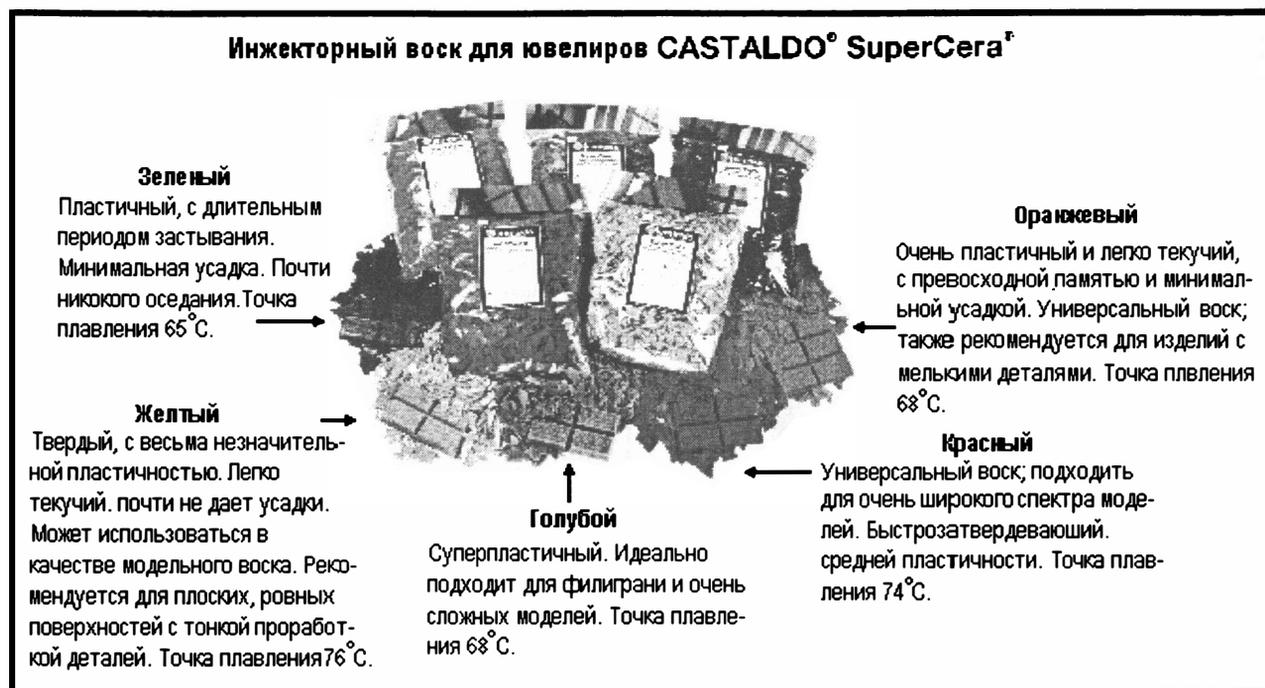


Рис. 2.38. Инжекторные воски

Инжекторные воски для ювелиров Castaldo SuperCera

Таблица 2.3

	Пластичность	Заполнение	Минимальная усадка	Минимальное оседание	Для больших плоских изделий	Для тонких или сложных изделий	Для любой цели	Возможность резки
Голубой	xxx	xxx	-	-	-	xxx	-	-
Оранжевый	xx	xx	x	-	-	xx	x	-
Красный	-	x	xx	x	x	-	xx	x
Желтый	-	-	xxx	xxx	xxx	x	-	xx
Зеленый	x	xx	xxx	xx	xxx	xx	x	x

Примечания: « - » - свойство не проявляется; x – свойство проявляется слабо; xx - свойство проявляется средне; xxx - свойство проявляется сильно.

Все сорта воска **CASTALDO® SuperCera®** безопасны, нетоксичны и не канцерогенны. Для достижения оптимальных результатов необходимо правильно выбирать сорт воска, учитывая при этом характеристики формы и производственные требования.

Они предназначены только для профессионального использования и только лицами, знакомыми с технологией ювелирного литья.

К каждой разновидности форм и каждому сорту воска предъявляются свои требования относительно давления, температуры и времени выдерживания. Пра-

вильная комбинация этих составляющих может быть найдена только путем экспериментов с разными формами и сортами воска.

Кроме того, надо учитывать, что характеристики формы меняются при повторном нагнетании в нее горячего воска. Правильная комбинация данных для холодной формы может оказаться неправильной для той же формы при повторном использовании из-за ее нагревания при первом нагнетании воска.

Таким образом, промежуток времени, необходимый для охлаждения между нагнетаниями - избы-

точный или недостаточный - также является одной из необходимых составляющих.

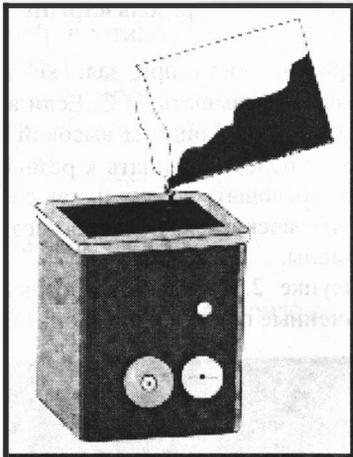
Расплавленный для нагнетания воск легко воспламеняется при температуре выше 180°C .

При работе горячий воск может вызвать ожоги. Поэтому необходимо иметь соответствующую защиту для глаз и работать в защитной одежде.

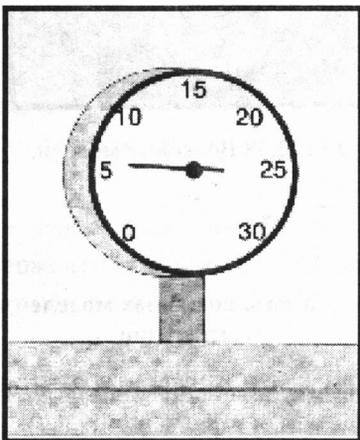
2.3.3. Технология изготовления восковок

Для изготовления восковок в резиновых пресс-формах необходимо выполнить следующие операции.

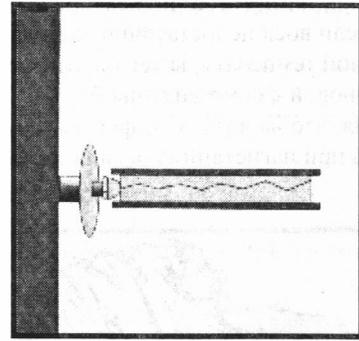
1. Заполнить инжектор модельным составом.
2. Включить инжектор и расплавить модельный состав.



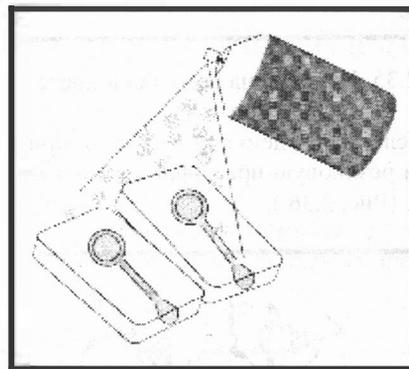
3. Установить регулятор температуры на нужный режим $62-72^{\circ}\text{C}$ в зависимости от массы и ажурности изделия.
4. Установить на входе регулирующего клапана компрессора давление от $0,2$ до $1,5 \text{ кг/см}^2$.



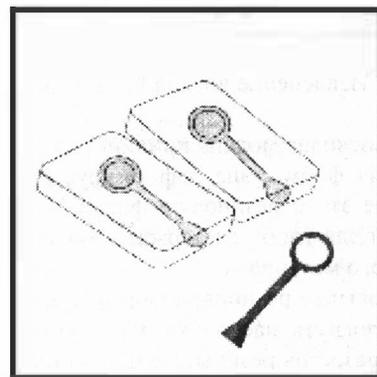
5. Одной рукой зажимать резиновую форму между двумя плоскими кусками металла толщиной 3 мм. Поднести резиновую пресс-форму к соплу инжектора и мягким нажатием в сопло заполнить ее модельным воском, затем плавно отвести.



6. Охладить пресс-форму в течение 2-3 минуты до 35°C и извлечь модель. Резиновая форма должна быть посыпана порошком (тальк), чтобы восковая модель не прилипла к резине. Вместо порошка можно использовать силиконовый аэрозоль.



7. Для получения большого количества восковок эти процессы повторяют многократно.



При длительной работе резиновая пресс-форма нагревается, поэтому его периодически надо охлаждать в холодильнике, так как в восковках полученных в горячей пресс-форме могут появляться усадочные раковины.

Восковой инжектор нагнетает воск в форму при помощи давления воздуха, которое создается в камере с расплавленным воском ручным насосом, установленным на инжекторе или компрессором. Давление воздуха при нагнетании воска в форму следует устанавливать как можно меньше ($2,5 - 4,0 \text{ Па}$) в зависимости от толщины восковых моделей.

Давления воздуха в инжекторе увеличивают в том случае, если воск недостаточно растекается в форме при нормальной температуре текучести воска.

В резиновой форме должны быть сделаны прорезы и отверстия, чтобы воздух из формы и пустот модели мог выходить при нагнетании воска под давлением (рис. 2.30).



Рис. 2.35. Надрезы на резиновой пресс-форме

После охлаждения воска в резиновой форме раскрываем резиновую пресс-форму и извлекаем восковую модель (Рис. 2.36.).

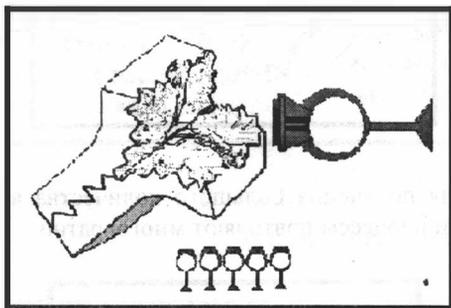


Рис. 2.36. Извлечение восковой модели из формы

Если восковая модель прилипает к резине, то при извлечении из формы она деформируется и ломается. Во избежание этого резиновую форму посыпают тальком, который для удобства держат в маленьком мешочке из пористого материала.

При посыпке резиновой формы порошком, ее необходимо разогнуть насколько это возможно для раскрытия всех разрезов резины. Нельзя наносить слишком много порошка. Излишки порошка надо сдуть.

Для извлечения из резины сложных восковых форм, можно использовать силиконовый аэрозоль «Spriti» (Рис. 2.37). При использовании аэрозоля первые 3-4 восковые модели получаются негодными, так как у них сглаживаются острые детали и поэтому их бракуют.

Воск надо удалять из резиновой формы сразу после затвердевания, через несколько минут после нагнетания воска в резину. Если воск оставить в резиновой форме надолго, то он высыхает. При этом портится резиновая форма, воск становится слишком хрупким, ломким, что приводит к порче восковых моделей и резины.



Рис. 2.37. Аэрозоль «Spriti»

Температура воска при заливке в резиновую форму не должна превышать 74°C . Если воск залить в резиновую форму при слишком высокой температуре ($t > 74^{\circ}\text{C}$), то он будет прилипать к резине, может кипеть в резине, поглощать воздух и, как следствие, при охлаждении на восковках появятся воздушные пузырьки и карманы.

На рисунке 2.38 показаны готовые восковые модели, полученные по технологии, описанной выше.

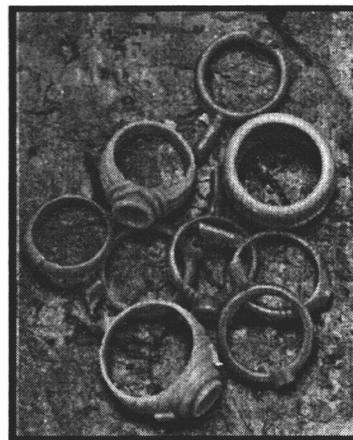


Рис. 2.38 Восковые модели.

2.3.4. Дефекты восковых моделей и их устранение

Основными дефектами восковых моделей являются воздушные пузыри, деформация, усадка выше нормы, шероховатости, трещины и облой. Задача литейщика заключается в устранении этих дефектов и получение качественных восковок, так как все эти дефекты переходят после литья в отливки и устранить их там почти невозможно. Возможные дефекты при изготовлении восковых моделей, и способы их устранения приведены в таблице 2.4.

Возможные дефекты при изготовлении восковых моделей, и способы их устранения.

Таблица 2.4

Причина	Решение
Воздушные пузырьки в модели	
Недостаточное количество воска в разливочном ковше	Наполняйте ковш повторно
Воск слишком горячий или слишком холодный	Доведите температуру воска до требуемой*
Недостаточный контакт между формой и соплом инжектора	Закрепите форму должным образом
Давление слишком высокое	Понижьте давление
Форма не заполняется	
Давление слишком низкое	Повысьте давление
Воск слишком холодный	Повысьте температуру воска*
Форма холодная	Нагрейте форму при повторном использовании
Литниковое отверстие слишком узкое	Расширьте литниковое отверстие
Недостаточная вентиляция формы (воздушные пробки в форме)	Подправьте вентиляционные отверстия
Вентиляционные отверстия формы заплавлены, засорены или забиты воском	Очистите вентиляционные отверстия формы и сохраняйте их открытыми
Инжектор забит	Очистите инжектор и его сопло
Форма переполняется	
Давление слишком высокое	Понижьте давление
Форма не закрыта должным образом	Закройте форму под равномерным давлением. Произведите повторную резку формы с исправленными замками.
Воск слишком горячий	Понижьте температуру воска*
Время вливания слишком велико	Сократите время вливания
Воск липкий, легко деформируется	
Форму вскрыли слишком быстро	Увеличьте время выдерживания формы
Воск слишком горячий	Понижьте температуру воска*
Усадка выше нормы	
Температура воска слишком высока	Понижьте температуру воска*
Давление слишком низкое	Повысьте давление
Время выдерживания формы слишком мало	Увеличьте время выдерживания формы
Литниковое отверстие слишком узкое	Расширьте литниковое отверстие
Форма холодная	Нагрейте форму при повторном использовании
Неправильно выбран сорт воска	Выберите сорт с низкой степенью усадки
Оседание (для крупных моделей)	
Неправильно выбран сорт воска	Выберите сорт с низкой степенью усадки
Время выдерживания формы слишком мало	Увеличьте время выдерживания формы
Воск слишком горячий	Понижьте температуру воска*
Давление слишком низкое	Повысьте давление
Литниковое отверстие слишком узкое	Расширьте литниковое отверстие
Недостаточная обработка поверхности (неровности, волны)	
Форма холодная	Нагрейте форму при повторном использовании
Температура воска слишком низкая	Повысьте температуру воска*
Недостаточная обработка поверхности (шероховатости, раковины)	
Давление слишком низкое	Повысьте давление
Антисклеивающий распылитель использован в слишком больших дозах	Сократите дозу антисклеивающего распылителя

Причина	Решение
Воск оплавляется (заусенцы на поверхности модели)	
Давление слишком высокое	Понижьте давление
Форма не закрыта должным образом	Закройте форму под равномерным давлением. Произведите повторную резку формы с исправленными замками.
Форма закреплена слишком свободно	Закрепите форму сильней
Вентиляционные отверстия формы заплавлены, засорены или забиты воском	Очистите вентиляционные отверстия формы и сохраняйте их открытыми и обработанными порошком
Недостаточно вентиляционных отверстий	Вырежьте дополнительные вентиляционные отверстия
Воск слишком горячий	Понижьте температуру воска
Трещины в модели	
Антисклеивающий распылитель использован в недостаточных дозах	Увеличьте дозу антисклеивающего распылителя
Форма не открывается должным образом или модель плохо извлекается	Открывайте форму иначе и/или иначе извлекайте модель
Форма не режется должным образом для легкого извлечения модели	Произведите вторичную резку или переделайте форму для достижения легкого извлечения образца
Время выдерживания формы слишком велико	Сократите время выдерживания формы
Выбран ломкий сорт воска	Выберите более пластичный воск

2.3.5. Изготовления воскового дерева («елочки»)

После изготовления восковых моделей переходим к сборке восковой елочки (2.39). Для этого необходимо выполнить следующие операции.

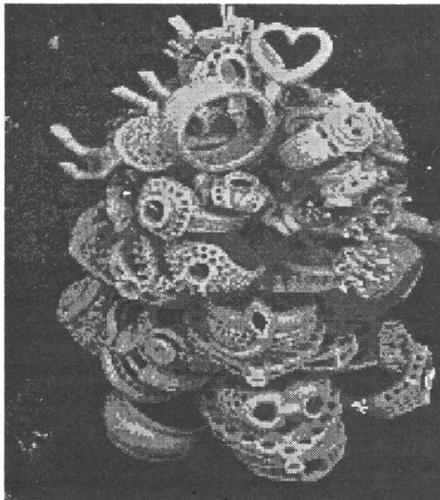


Рис. 2.39. Восковое дерево («елочка»)

Закрепить восковой стояк (литник) на резиновой подставке как показано на рис. 2.40.

Литник должен быть достаточно толстым (диаметром около 5-7 мм), чтобы жидкий металл смог достичь тонких частей модельной полости, прежде чем затвердеет.

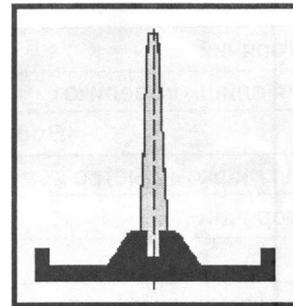


Рис. 2.40. Восковой стояк (литник)

Он предназначен: для крепления (припаивания) восковых моделей; удаления воска при вытапливании и при отжиге; движения расплавленного металла в модельную полость; подпитки отливок в процессе кристаллизации; уменьшения турбулентности при движении расплавленного металла по каналу.

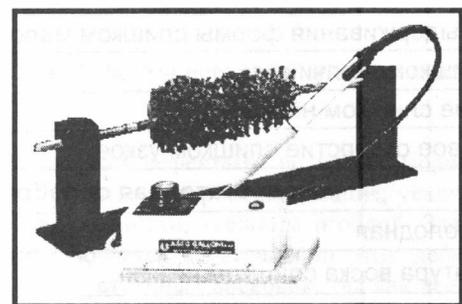


Рис. 2.41. Электрошпатель

Прикрепить к стояку по кругу восковые модели с помощью электрошпателя (рис. 2.41) приблизительно

под углом 45°. Расстояние между ближайшими точками моделей должно быть не менее 3 мм (рис.2.42).

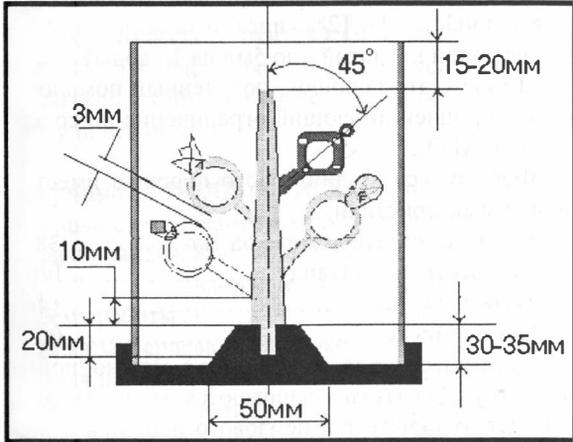


Рис. 2.42. Чертеж восковой елочки

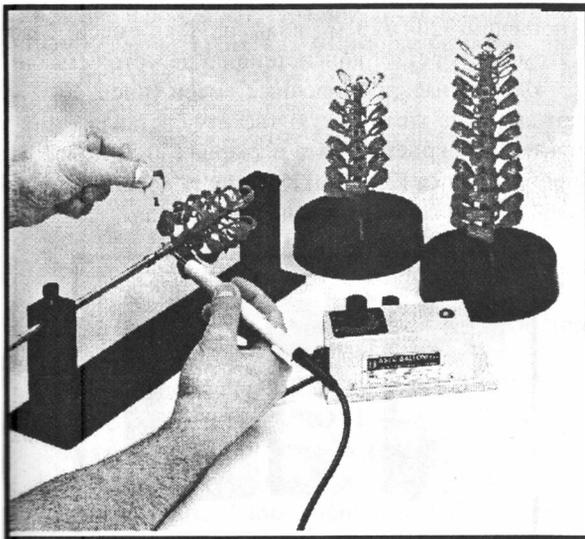


Рис 2.43 изготовлению восковой «елочки»:

Некоторые рекомендации к изготовлению восковой «елочки»:

1. восковая «елочка» должна собираться из восковых моделей приблизительно одинаковой толщины стенок в сечениях.

Причина - При заливке металла в опоку надо устанавливать температуру заливки, в зависимости от толщины стенок восковых моделей, т. е. для моделей с толстыми в сечении стенками температура заливки меньше, чем для моделей с тонкими стенками.

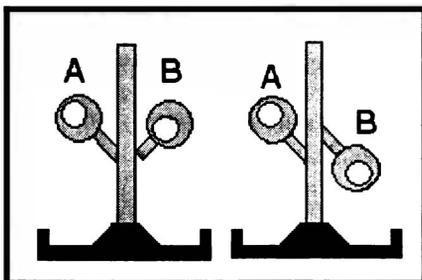


Рис 2.44. Правильное (А) и неправильное (В) соединение восковых моделей на стояке

2. Толстые и тонкие восковые модели различаются по их толщине стенок в сечении. Если все же толстые и тонкие модели должны быть отлиты в одной и той же опоке, то тонкие модели следует разместить на вершине «елочки» и ближе стволу, а толстые модели закрепляют ближе к внешней стороне.

Причина - Огнеупорная смесь у краев опоки имеет более низкую температуру (что нужно для толстых моделей), чем в центре опоки.

3. Толстые восковые модели не должны размещаться в «елочке» своими большими поверхностями близко друг к другу. Надо устанавливать модели так, чтобы малые поверхности одних моделей располагались около больших поверхностей других.

Причина - Когда металл залит в опоку, большие поверхности, расположенные близко друг к другу, будут дольше остывать из-за излучения тепла друг от друга. Это может привести к порам в отливке.

4. При изготовлении «елочки» восковые модели следует располагать под острым углом к стояку (рис.2.44).

Причина - Такое расположение облегчает выжигание воска, а также способствует плавной заливке расплавленного металла по всем частям модельной полости.

5. Расстояние от верхушки литниковой чаши до нижнего ряда восковых моделей должно составлять не менее 10 мм (рис. 2.42).

Причина - Нижний ряд «восковой елочки», расположенный непосредственно у литниковой чаши, не всегда достаточно хорошо заполняется металлом, т. е., возможно образование недоливов.

Незначительные дефекты в восковых моделях, после извлечения их из резиновой формы, можно исправить, добавив воск в мелкие недоливы и соскоблив лишний воск. Дефекты и поломки, полученные из-за деформации восковок при их извлечении из резиновых форм, можно исправить, используя ручной автономный мини-паяльник (рис. 2.45).

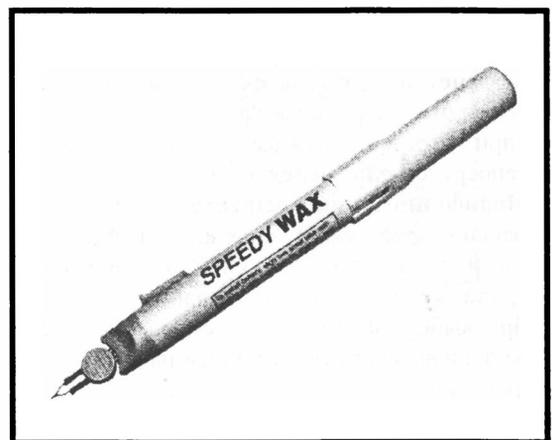


Рис. 2.45. Автономный мини-паяльник



2.4. Изготовление литейных форм

2.4.1. Формовочная масса

Следующий этап работы заключается в том, что «елочку», собранную из восковых моделей помещают в опоку и заливают огнеупорной гипсовой смесью (формовочной массой).

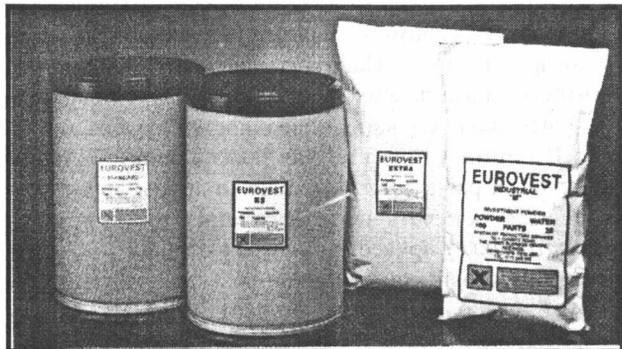


Рис 2.46. Формовочные массы

Огнеупорная смесь состоит из химически чистого кристоболита (огнеупорного наполнителя), высокопрочного гипса, кремнезема, а также модифицирующих веществ (замедлителей), регулирующих скорость затвердевания гипса.

Кристоболит – это минерал вулканической породы, его получают, нагревая кремнезем до 1472-1671 °С. Формовочная масса, содержащая кристоболит, не растрескивается при заливке расплавленного металла.

Гипс – это связующий материал, встречающийся в природе преимущественно в виде дигидрата гипсового камня ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Гипсовый камень при плавном нагреве до 107 °С разлагается и превращается в алебастр.



Кремнезем – это двуокись кремния SiO_2 . Он действует на огнеупорную смесь как стабилизирующий фактор при нагревании для выжигания воска и охлаждении непосредственно перед отливкой.

Модифицирующие вещества – это специальные добавки (борная кислота, серноокислый алюминий, мочевины и т. д.), которые снижают окисляемость сплавов, а также замедляют схватывание гипса.

При выборе формовочной смеси (формомассы) ювелиры должны обратить внимание на следующие ее характеристики:

1. Формомасса должна выдерживать требуемую для выжигания воска температуру (760 °С), не давая при этом трещин.
2. Формомасса должна выдерживать температуру заливки металла (для золота около 1000 °С), а также давление расплавленного металла, который затекает в форму с большой скоростью.
3. Формомасса не должна содержать химически вредных веществ, которые могут привести к коррозии или окислению опоки или отливки.

4. Формовочная смесь должна позволять быстрое и легкое извлечение после литья, отливки из опоки.

В России выпускается формомасса, состоящая из 80 – 88% диноса, 20 – 12% гипса и затворителя (вода с ортофосфорной кислотой - до 5мл на 1л воды).

Динос – это порошок, полученный помолом диносовых кирпичей, имеющий ограничение по содержанию CaO и Al_2O_3 .

Формомасса из диносового порошка имеет следующие характеристики:

Количество затворителя на 1кг	380мл
Текучесть по Суттарду	140мм
Затвердевание	14мин
Осыпаемость	0,27%.

Формомассу для микро литья можно приготовить самому. Для этого смешиваются две части гипса с одной частью талька или пемзового порошка и добавляется (для замедления схватывания гипса) 1-2% гашеной извести и борной кислоты. Состав надо хорошо перемешать и засыпать в дистиллированную воду в соотношении 320- 420 мл воды на 1 кг смеси. Масса при этом приобретает консистенцию негустой сметаны.

Импортные формовочные смеси (рис.2.46, 2.47) имеют высокую химическую чистоту составляющих их компонентов - кристоболита и кварца (70-75%) и высокопрочного гипса (25-30%). Крупность зерен порошков кристоболита и гипса не превышает 100мкм.

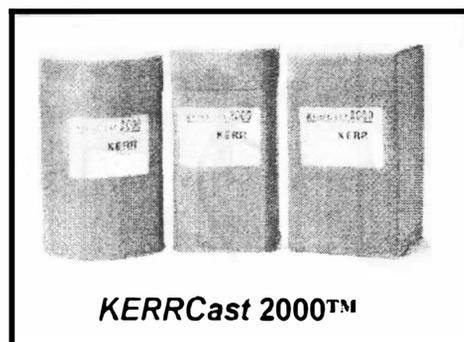


Рис 2.47. Формомассы фирмы КЕРРКаст

В настоящее время на рынке имеются превосходные формовочные смеси, выпускаемые различными зарубежными фирмами. Ниже приведены их краткие характеристики.

1. Формомассы фирмы КЕРР (США).

Формомасса марки КЕРРКаст 2000 (рис. 2.47). Используется для работы с золотом и серебром. Позволяет легко отделять форму в холодной воде. Образует блестящую финишную отделку поверхности.

Основные характеристики:

Время работы	9-10 минут.
Время затвердевания в опоке	11-12 минут.
Время прокаливания	не менее 6 часов.
Температура заливки	не выше 1093 °С.

Формомасса марки САТИНКаст 20. Имеет те же характеристики, что и КЕРРКаст 2000. В отличие от нее формомасса САТИН Каст 20 имеет мелкозернистую структуру. Эти формомассы изготовлены в соответствии со строгими стандартами на основе гидратного гипса из карьеров, находящихся в США.

2. Формомассы фирмы ХОБЕН Интернейшнл (Англия).

Формомассы марки ГОЛД СТАР 21 и ГОЛД СТАР XL. Представляют собой смеси повышенной термической стойкости, обеспечивающие наилучшую отделку поверхности.

Формомасса ГОЛД СТАР XL – это смесь на гипсовой основе с содержанием кремнезема (71-75 %), сульфата кальция (24-28%) и органических веществ (1%).

Основные характеристики:

Время работы	7,5-9 мин.
Время затвердевания в опоке	10-11 минут.
Время прокаливания	не менее 6 часов.
Температура заливки	не выше 1100°С.
Температура обжига	740°С.

Формомасса марки ГОЛД СТАР УЛЬТИМА. Она специально разработана для литья высокотемпературных сплавов, таких как благородное белое золото, сплавы из платины и другие сплавы, температура плавления которых не превышает 1300°С.

Основные характеристики:

Время работы	9-11 мин.
Время прокаливания	не менее 6 часов.
Температура заливки	не выше 1300°С.
Максимальная температура обжига	850°С.

3. Формомассы фирмы CPC Лтд. (Англия).

Формомассы марок EUROVEST-E2, EUROVEST-EXTRA, EUROVEST-STANDART имеют уникальный состав, разработанный для повышения устойчивости к термоудару во время циклов нагревания и охлаждения. У них очень высокие прочностные характеристики, легко смачиваются и разводятся водой, давая при этом тонкую жидкую консистенцию. Это приводит к образованию поверхности исключительно высокого качества и позволяет использовать эти массы для всех металлов, включая золото 900-й пробы. Их можно использовать как для отливки крупных ступок, так и изделий тонкой филигранной работы.

Основные характеристики:

Время работы	8-9 мин.
Время затвердевания в опоке	11-12 минут.
Время прокаливания	не менее 6 часов.
Температура заливки	не выше 1100°С.
Температура обжига	750°С.

Формомасса марки КЛАССИК имеет большие технологические гибкости, позволяющие изменять параметры литья. Подходит ко всем металлам, особенно для золота 750-й пробы. Она легко удаляется после литья. Отливки имеют поверхности более высокой чистоты.

Основные характеристики:

Время работы	8-9 мин.
Время затвердевания в опоке	10-12 мин.
Время прокаливания	не менее 6 часов.
Температура заливки	не выше 1100°С.
Объемный выход из 1кг порошка.....	795 мл.

2.4.2. Подготовка восковых моделей для заливки формовочной массой

Прежде чем, залить формовочную массу в опоку, где укреплены восковые модели, надо провести дополнительно следующие процедуры.

Обезжирить «елочку» в спирте или в четыреххлористом углероде. Обезжиривание производится путем окунания этой «елочки» 5-6 раз в ванну с растворителем. Затем просушить «елочку» на воздухе.

Обезжиривание «елочки» можно проводить и с помощью мыльного раствора. Для этого «елочку» окунают в мыльный раствор. Его готовят, растворив 7-8 граммов стирального порошка в 1 литре теплой воды (температура воды 35-40°С). После этого «елочку» промывают в холодной воде и просушивают с помощью вентилятора.

Для обезжиривания можно также использовать обеспениватель Керра – раствор, снижающий поверхностное натяжение. Обеспениватель позволяет провести литье восковых моделей без вакуумирования. Ее наносят на восковые модели с помощью мягкой кисти.

Многие литейщики не пользуются смачивающими растворами, считая, что хорошее вакуумирование опок достаточно для получения нормального результата.

2.4.3. Опоки для литья

Опоки для литья – это трубы из нержавеющей стали разного диаметра и разной высоты (рис.2.48).

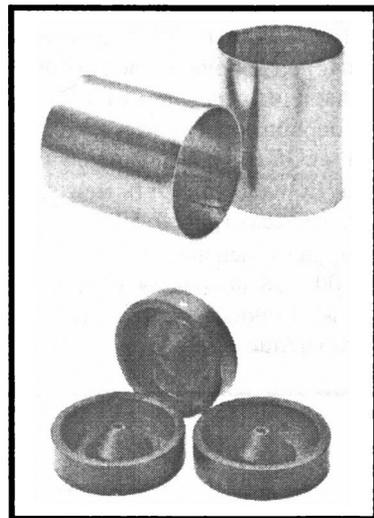


Рис 2.48. Опоки и резиновые уплотнители

Опоки для вакуумного литья имеют более сложную форму (рис.2.49). На поверхности этих опок имеются множество отверстий, благодаря которым происходит быстрое высыхание массы. Кроме того, через эти отверстия происходит всестороннее вакуумное всасывание и быстрое остывание краев опоки после заливки расплава.

Опоки должны плотно входить в резиновые уплотнители, чтобы не было утечки формомассы. Перед использованием, опока должна быть тщательно очищена от старой формомассы, а внутреннюю ее поверх-

ность надо очистить от ржавчины с помощью железной щетки.

Размеры опок выбирают в зависимости от количества отливок и возможностей литейной машины.

Опока размером 10x15 см означает, что она имеет диаметр 10 и высотой 15 см.

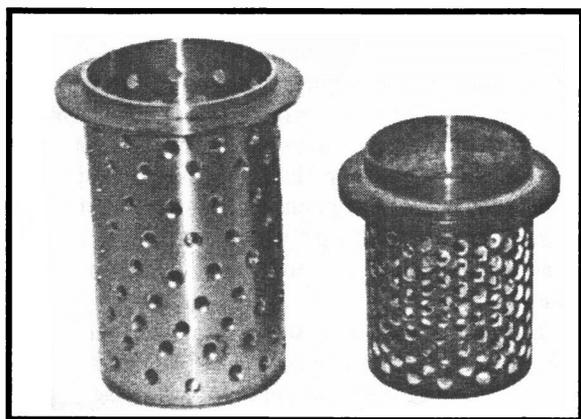


Рис 2.49. Опоки для вакуумного литья

2.4.4. Технологические циклы получения литейных форм

Технологические циклы получения литейных форм состоит из следующих этапов.

1. Приготовление водяной суспензии.

Для приготовления водяной суспензии рекомендуется соотношение «порошок – вода» 100 - 40 или 100 - 38. Это означает, что для приготовления суспензии следует 100 г. порошка смешивать с 40 мл. воды или 100 г. порошка – с 38 мл. воды. Воду лучше брать дистиллированную. Ее надо отмерять мензуркой, а порошок взвешивать на весах (рис. 2. 50).

Температура суспензии должна быть около 20°C. Соотношение 100 - 38 используется для обычного литья. При литье же тонких филигранных изделий рекомендуется соотношение 100 – 40.

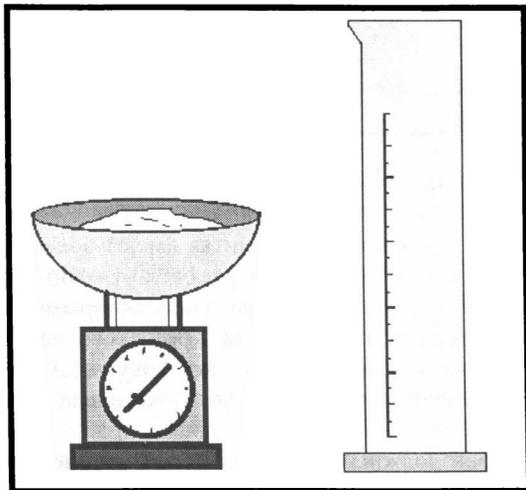


Рис 2.50. Взвешивание формомассы и воды

Соотношения полезные литейщику

Таблица 2.5

1 мл = 1 см ³	1 унция = 28,35 г.
1 дюйм = 2,54 см	1 жидк. унция = 29,57 см ³
1 куб. дюйм = 16,4 см ³	1 см ³ воды = 1 г.
1 фунт = 453,6 г	1 фунт = 16 унций

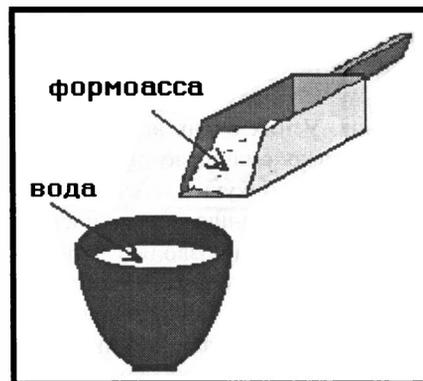
Рекомендуемых пропорций для формомасс

Таблица 2.6

Размер опоки, мм.	100 - 40		100 - 38	
	Порошок, гр.	Вода, мл.	Порошок, гр.	Вода, мл.
75x75	510	204	510	194
100x75	680	272	680	258
125x75	850	340	850	323
100x100	1020	408	1020	388
150x100	1590	636	1590	604
200x100	2050	820	2050	779

Для определения массы формовочного порошка, необходимой для заполнения формы, следует объем формы (в кубических дюймах) разделить на 20. Взвесить точные пропорции порошка и воды по таблице 2.6. Добавить порошок в воду и перемешать вручную около 30 сек., т. е. до тех пор, пока вся масса порошка не будет смочена водой.

Внимание! Формовочный порошок добавляют в воду, а не наоборот.



Для определения массы воды требуемой для заполнения опоки, содержащей восковые модели, надо осторожно заполнить опоку водой комнатной температуры (20-22°C), а затем вылить воду в мензурку. Это и будет массой требуемой воды. Если известна масса воды, требуемой для заливки в опоку, то массу порошка можно определить следующим образом. Например, нам нужно отлить филигранные изделия. При этом надо пользоваться соотношением «порошок – вода» 100 - 40. Наполняем опоку, в которой установлены восковые модели, водопроводной водой комнатной температуры наполовину и затем выливаем эту воду в мензурку. Предположим, что мензурка показала массу воды 86 мл. Тогда пропорция имеет следующий вид:

$$100 - 40$$

$$X - 86$$

Отсюда $X = 86 \times 100 / 40 = 215$ гр. формомассы.

Если нам необходимо отлить более тяжелые изделия, тогда мы пользуемся соотношением «порошок – вода» 100 - 38 и составляем пропорцию:

$$100 - 38$$

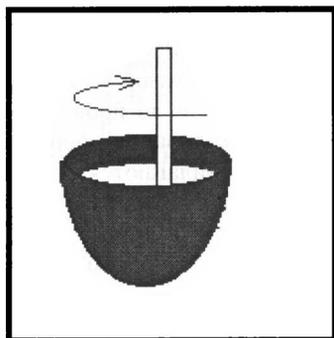
$$X - 86$$

Отсюда $X = 86 \times 100 / 38 = 227$ гр. формомассы.

Температура воды обязательно должна быть комнатной - примерно 20-22°C. Если температура воды будет выше комнатной, то смесь будет быстрее схватываться. При температуре смеси ниже комнатной, то наоборот время схватывания будет увеличиваться. Таким образом, температура воды и смеси может существенно влиять на качество отливок.

Время схватывания – это время от момента смешивания порошка с водой до момента затвердевания. Среднее время схватывания для порошка «Kerr Satin Cast 20» колеблется в пределах 9-10 минут.

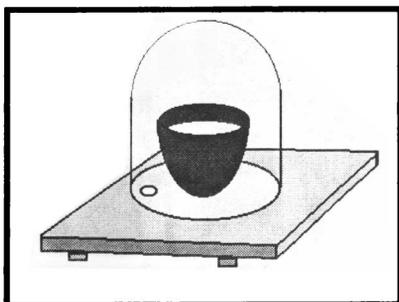
2. Перемешивания смеси



Перемешивают порошок с водой в резиновой чашке сначала вручную с помощью столовой ложки или шпателем, а затем, чтобы получить однородную массу, - миксером. Для малых опок можно ограничиться перемешиванием смеси вручную. Время перемешивания от 2 до 4 минут.

Необходимо заметить, если из-за химического состава местной воды, время схватывания увеличивается по сравнению с нормативным, то избыточное время следует потратить на смешивание суспензии, а не на вакуумирование. При длительном и тщательном замешивании ускоряется процесс схватывания, и получаются качественные отливки с более гладкими поверхностями. Нельзя перемешивать смесь слишком быстро. Это приводит к поднятию воды в верхнюю часть опоки, поскольку она легче, чем порошок формомассы и, как следствие, к образованию завихрений вблизи восковых моделей и дефекту литья.

3. Вакуумирование смеси

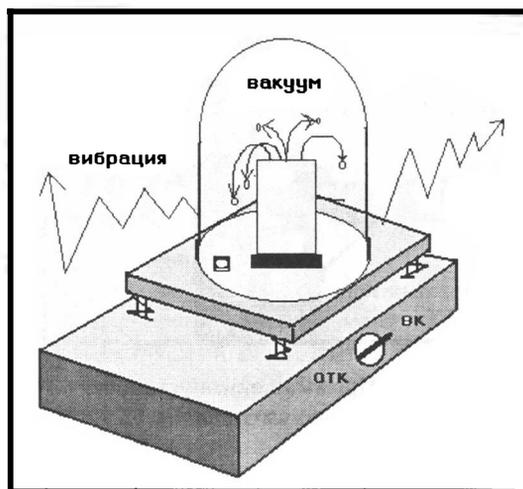


Полученная суспензия с сосудом (резиновая чашка) помещается под вакуумный колпак для удаления воздуха из суспензии, т. е. вакуумируется. Если воздух из суспензии не удалить, то он прилипает к восковым моделям в виде больших и малых воздушных пузырьков. Эти пузырьки могут быть отлиты, как малые и большие металлические шарики, приставшие к отливкам. Вакуумирование проводится при давлении не более 1400 Па в течение 2-3 минут.

При вакуумировании суспензии, воздух из колпака удаляется за счет снижения давления. Когда давление над водой достаточно понизится, вода в резиновой чашке начнет кипеть при комнатной температуре, что приведет к полному удалению воздуха из суспензии. Затем суспензию медленно, чтобы не поломать восковые формы, заливают по бокам опоки до тех пор, пока не поднимется немного выше восковых моделей.

Смесь заливают в опоку очень осторожно, чтобы не поломать восковые модели и литники.

4. Вибровакуумирование



Опоки, залитые суспензией, помещают под вакуумный колпак, установленный на вибрационном столе. Вибрация и одновременное вакуумирование позволяет смеси полностью обтекать восковые модели и полностью удаляет пузырьки воздуха. Процесс продолжается от 1 до 2 минут при давлении 1400 Па. За это время суспензия снова сильно поднимается, затем оседает и начинает кипеть.



При вакуумировании, смесь поднимается и вытекает сверху через края опоки. Поэтому целесообразно на опоку устанавливать съемные воротнички, высотой от края опоки около 2,5-3 см. Воротнички можно, к примеру, изготовить из пластмассовых бутылок от воды, подобрав бутылку по диаметру опоки.

Имеются промышленные установки вибровacuумирования, которые представляет собой вакуумный насос с автоматической вибрацией (рис. 2.51). Вакуумный насос действует по принципу деаэрации посредством использования высокого вакуума и автоматической вибрации, что позволяет формомассе плотно прилегать к восковым моделям, без образования пузырьков воздуха. Деаэрация жидкой смеси происходит очень быстро и эффективно - это полностью исключает воздушные включения (пузырьки) при литье.

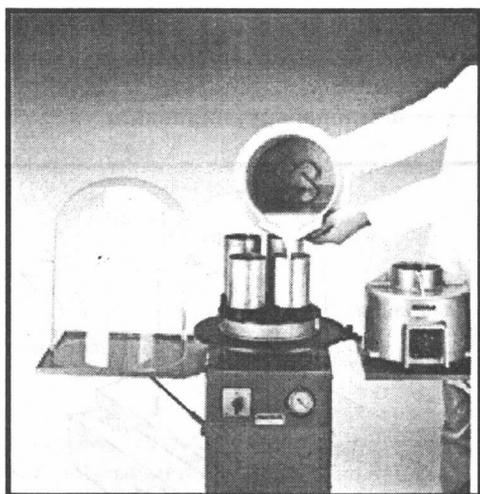


Рис 2.51. Промышленная установка вибровacuумирования

Если нет вакуумной системы, воздух из опоки можно удалить следующим образом. Сначала заливаем в опоку формовочную смесь, пока полностью не покроются восковые модели. Затем поднимаем опоку, закрывая ладонью, верхнее отверстие опоки и, повернув опоку на бок, начинаем трясти. При встряхивании опоки пузырьки воздуха, захваченные восковой моделью, выходят, и смесь плотно затекает в щели модели. После этого, доливаем смесь в опоку, вибрируя при этом вручную, пока она не заполнится.

Если при этом воздух все же прилипнет к модели, то в отливках он выйдет в виде маленького шарика, который легко удаляется напильником.

После затвердевания надо опокам дать подсохнуть в течение 1-го часа для маленьких опок и 2-х часов для больших.

5. Вытапливание воска и отжиг опоки

После того, как формомасса затвердеет, надо снять резиновую подставку с опоки и удалить все излишки формомассы и воска на ее краях или на боковых стенках. Затем нужно удалить все оставшиеся частицы формомассы из литниковой чаши кистью, чтобы они не были занесены расплавленным металлом внутрь формы.

Модельный состав вытапливают паром, или в муфельных печах, или в специальных шкафах для вытапливания воска (рис. 2.52).

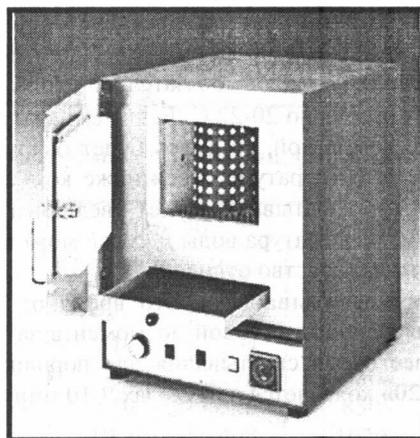


Рис 2.52. Печь для вытапливания воска

Цикл вытапливания воска с последующим обжигом опок является важной фазой в литейном деле. Поэтому прокалывание опок надо проводить по разработанным режимам прокалывания формомасс. Режим прокалывания обычно прилагаются при покупке формомасс. При отклонении от этих режимов опоки могут дать трещины, неровности и другие дефекты в отливках. При вытапливании воска рекомендуется помещать опоки в предварительно нагретую до 150°C печь. Хранить формы долго перед прокалыванием не рекомендуется.

При температуре от 90 до 100°C большая часть воска расплавляется и вытекает через литниковое отверстие. Пар, образовавшийся в результате нагревания влажной формомассы (опоки) помогает удалению воска из модельных полостей формы. Оставшаяся часть воска при последующем нагревании до 550°C превращается в сажу (уголь). При температуре 750°C сажа соединяется с кислородом воздуха, образуя газообразное соединение CO_2 , и полностью удаляется. При этом печь должна вентилироваться.

Многие литейщики для прокалывания опок используют печи с программируемым полупроводниковым регулятором температуры - печи с контролером (рис.2.53).

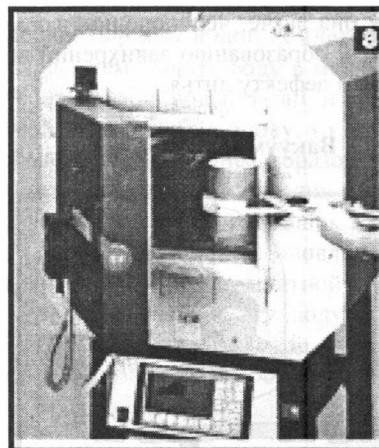


Рис 2.53. Печь с контролером для обжига опок

Контролер представляет собой устройство, предназначенное для установки на электропечи муфельного типа. Он обеспечивает необходимый пользователю программируемый режим нагрева и управления внешним вентилятором.

Преимущества программируемой прокалочной печи в том, что она экономит рабочее время. Запрограммировав печь в нерабочее время, по выбранному циклу прокаливания, можно подготовить опоки к заливке на следующий день.

Ниже приводятся некоторые правила, рекомендуемые при выплавлении воска и отжиге опок.

1. Опоки с залитой формомассой нельзя хранить долго в холодной печи. Если опоки с формомассой надо хранить долго, то их заворачивают в мокрые тряпки. Если формомасса высохнет, то при выпаривании воска из опоки этот воск будет впитываться в ее поры. Если опоку после заливки формомассы, выдержав 1-1,5 часа, поместить в предварительно нагретую до 150°С печь, большая часть воска, расплавляясь, вытекает через летниковый канал. Кроме того пар, который образуется в формомассе из воды при ее нагревании до 100°С и выше, помогает удалить воск со стенок модельных полостей.

2. При выплавлении воска из формы опоку надо медленно прогреть до 200°С. В противном случае, если прогревание вести быстро, то пар, образовавшийся в модельных полостях, расширяется быстрее, чем выходит через литниковое отверстие. Поэтому некоторые тонкие части полости деформируются и могут привести к дефектным отливкам.

3. Камера печи, где происходит отжиг опок, должна вентилироваться. Вентиляция необходима, так как часть воска, которая пропиталась и осталась в формомассе, превращается при отжиге в уголь (сажу), а затем в двуокись углерода и выходит через летниковое отверстие.

4. Нельзя нагревать опоку выше 800°С. При нагреве выше 800°С разрушается гипсовая связка, т. е. гипс разлагается на двуокись серы SO₂ и триокись - SO₃. Если литье провести при температуре 800°С и выше, изменяются цвета литых отливок. Кроме того, металл, залитый в такую опоку, будет медленно остывать, что приводит к пористости и плохой чистоте поверхности отливок.

2.4.5. Рекомендуемые циклы отжига формомасс

Мастера – литейщики, которые отжигают опоки небольшими партиями в обычных муфельных печах, используют несколько мелких опок высотой 50 мм. При этом время отжига можно уменьшить. Температуру отжига поднимают от комнатной до 730°С в течение 1 – 2,5 часа. После того как воск полностью выгорел, надо дать печи и опоке медленно остыть до температуры заливки (500-550°С) и выдержать некоторое время.

Если на муфельной печи нет терморегулятора, то температуру можно приблизительно определить по цвету печи и опоки. В зависимости от температуры цвет опоки меняется следующим образом.

Начально-красное каление	480°С.
Темно-красное каление	590°С.
Вишнево-красное каление	760°С.
Оранжево-розовое каление	840°С.

Температуру печи можно также определить приблизительно по температурам плавления некоторых металлов. Для этого небольшой тигель с металлом ставят в муфельную печь и в момент его плавления определяют температуру согласно таблице 2.6.

Температуры плавления некоторых металлов

Таблица 2.6

Олово	232°С	Алюминий	660°С
Свинец	327°С	Золото – 585 пробы	880°С
Цинк	420°С	Монетное серебро	891°С

По этой таблице можно определить приблизительно температуру печи и, следовательно, опоки. Например, поместив тигель с оловом рядом с опокой, по температуре плавления олова (232°С) можно определить температуру, требуемой для выплавки воска.

По цвету вблизи канала летника можно судить о том, что завершен или не завершен отжиг. Если цвет формомассы вблизи канала летника черный или серый, то воск еще полностью не выгорел и отжиг не завершен. Кроме того, пламя выходящее из литникового канала показывает, что отжиг еще не завершен. Если же цвет формомассы вблизи канала летника белый как мел, то отжиг завершен.

Ниже приведены рекомендуемые циклы отжига опок. Они представляются в виде таблиц и графиков.

Рекомендуемый цикл отжига формомасс в программируемых печах с большими объемами камер, где помещаются до 50-60 опок.

1 час при	120°С
1 час подъем до	320°С
1 час подъем до	540°С
1 час подъем до	730°С
2 часа выдержать при	730°С
1 час снижение до	620°С
2 часа снижение до температуры литья.	

Рекомендуемые циклы отжига формомассы
Голд стар 21.

Для небольших опок, суммарный вес которых не превышает 2 кг, рекомендуется 6-ти часовой цикл отжига (рис. 2.54).



Рис. 2.54 График 6-ти часового цикла отжига формомассы Голд стар 21

Для больших опок размером до 101.6x203.2 мм рекомендуется 12-ти часовой цикл отжига (рис. 2.55).

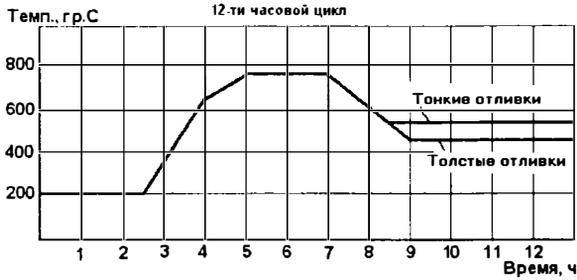


Рис. 2.55. График 12-ти часового цикла отжига формомассы Голд стар 21

Рекомендуемые циклы отжига формомасс Голд стар XL и Ультима такие же, как и Голд стар 21.

Рекомендуемые циклы отжига формомассы «Керр» в зависимости от размера опок.

Для опок размером до 64X64 мм

Предварительный прогрев печи до	200°C
1 час	200°C
1 час	370°C
2 часа	730°C
1 час – для тонких филигранных изделий ..	540°C

Для опок размером 90X102.6мм

Предварительный прогрев печи до	200°C
2 час	200°C
2 час	370°C
3 часа	730°C
1 час – для тонких филигранных изделий ..	540°C
(1 час - для толстых изделий	480°C)

Предварительный прогрев печи до	200°C
2 час	200°C
2 час	320°C
2 час	480°C
4 часа	730°C
2 час – для тонких филигранных изделий ..	540°C
(2 час - для толстых изделий	480°C)

Рекомендуемые циклы отжига формомасс SRC

Для опок размерами 10X15см

2 час при	175°C
3 час подъем до	720°C
2 часа выдержать при	720°C
1 час снижение до температуры литья.	

Опоки размерами более 10X15 см

3 час при	185°C
3 час подъем до	720°C
4 часа выдержать при	720°C
2 часа снижение до температуры литья.	

Рекомендуемый цикл прокалики формомассы ПЛАТИНКАСТ.

Это формовочная масса используется при литье металлов с температурой плавления более 1100°C, включая платину и сталь.

Поднять температуру с 20°C, до 300°C со скоростью 200°C/час (нельзя выпаривать воск паром).

3 часа выдержать при температуре 300°C. Поднять температуру до 990°C со скоростью 100°C/час.

3 часа выдержать при температуре 990°C. Залить металл в опоку.



ГЛАВА 3. ПЛАВКА И ЛИТЬЕ

Существуют различные методы литья: литье в кокиль; литье в землю; оболочковое литье; литье по выплавляемым моделям и т. д.

При литье ювелирных изделий наиболее часто используется метод литья по выплавляемым моделям. Особенно эффективен этот метод для получения мелких тонкостенных сложных по форме отливок.

Использование эластичных резиновых пресс-форм и тонко-дисперсионных формовочных материалов на основе гипса, с принудительной заливкой металла в форму, позволяет получить высокое качества поверхности и точность воспроизведения ажурного рисунка отливок.

При литье по выплавляемым моделям с принудительной заливкой металла в форму применяют различные литейные установки и устройства: центробежная литейная установка; вакуумная литейная установка; вакуумно-центробежная литейная установка и др.

3.1. Простейшая центробежная литейная установка

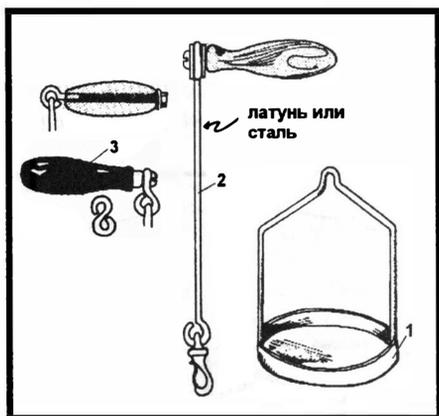


Рис. 3.1. Простейшая центробежная литейная установка

Одним из простейших видов литья является центробежное литье. Центробежным литьем пользуются обычно зубные техники для литья золотых зубов. Простейшая центробежная литейная установка показана на рисунке 3.1. Она состоит из металлической чаши-1 и металлического стержня (цепочки)-2 с ручкой-3.

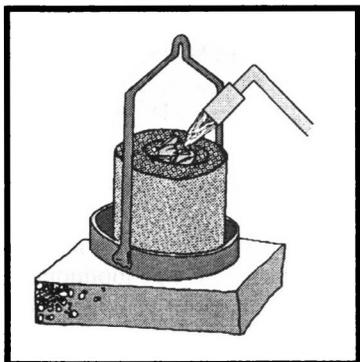


Рис. 3.2. Плавка металла на опоке

Принцип действия такой установки заключается в следующем. Прокаленную опоку при температуре 650°C кладут на чашу 1, затем необходимое количество металла плавят газовой горелкой прямо у литникового отверстия (рис. 3.2). Причем отверстие должно быть диаметром 3-4 мм, чтобы после расплавления металл под действием силы тяжести не затекал через литниковое отверстие в форму. Когда металл расплавится, он должен плавать как ртуть у литникового отверстия. После этого горелку следует убрать, а чашку с опокой сразу плавно вращать с помощью ручки в вертикальной плоскости (сделать примерно 20 оборотов), чтобы центробежная сила нагнетала расплавленный металл в опоку (рис. 3.3).

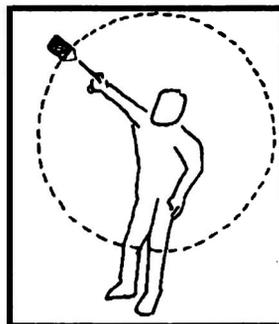


Рис. 3.3. Вращение чаши с опокой

Центробежная сила зависит от скорости вращения V и от радиуса R (длины цепочки)

$$F = m\omega^2 R = \frac{mV^2}{R}$$

При центробежном литье, расплавленный металл наполняет форму под действием центробежной силы, возникающей за счет быстрого вращения чашки с опокой.

Отливки, полученные в результате такого литья, будут весьма плотными за счет действия сильного давления металла, возникающего от центробежной силы. Этот метод литья до сих пор применяют мастера-ювелиры в небольших мастерских.

Заметим, что при небрежном вращении чашки, т. е. при первом же рывке, расплавленный металл может вытечь, брызнуть на пол и привести к ожогам и потерям. Поэтому мастерам надо предварительно потренироваться с пустой опокой или многократно вращать в вертикальной плоскости стакан с водой, установленный на чашке, чтобы отработать навыки литья указанным методом.

В настоящее время существуют различные центробежные литейные машины, с помощью которых можно получить в большом количестве качественные, беспористые отливки.

Центробежное литье по выплавляемым моделям имеет следующие преимущества:

1. Можно получить отливки сложных форм сравнительно простым способом.
2. Значительно снижается возможность образования усадочных раковин.
3. Уменьшается объем прибылей.



3.2. Центробежная литейная установка с приводом от пружины

Центробежная установка (рис. 3.4) состоит из опоки 1, тигля 2, коромысла 3, груза 4 и основания 5 с пружиной для запуска установки. Коромысло установки уравновешенно опокой и грузом. На один конец коромысла укреплен опока с тиглем, который вставлен в отверстие литника, а на другой конец укреплен груз 4, который можно перемещать по коромыслу для его уравновешивания.

Металл в тигле расплавляется с помощью газовой горелки. Чтобы запустить коромысло, надо вращать руками коромысло в обратную сторону и зафиксировать заведенную пружину стопором, расположенным на основании. Стопор отпускают в момент заливки расплавленного металла в опоку.

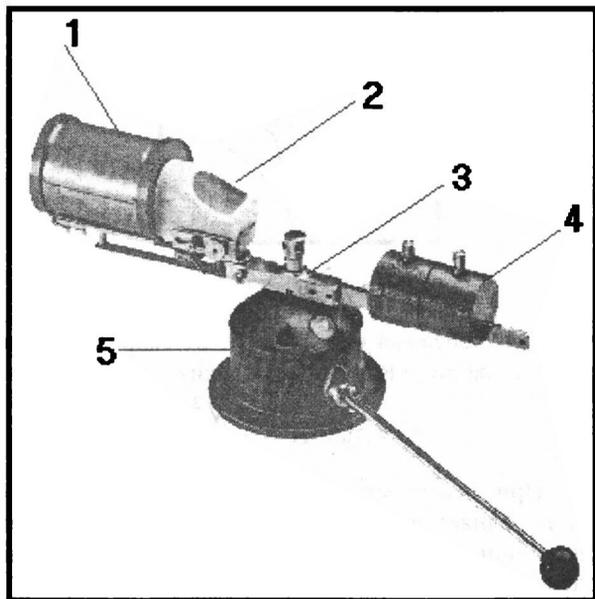


Рис. 3.4. Центробежная литейная установка с приводом от пружины

При вращении коромысла на расплавленный металл действует центробежная сила, которая нагнетает расплав в опоку. Как известно, центробежная сила зависит от скорости вращения и массы расплавленного металла и от длины плеча коромысла. Поэтому на этих установках для развития больших скоростей применяют мощные пружины. В целях безопасности установку располагают внутри металлического цилиндрического кожуха (рис. 3.5).

В промышленных центробежных литейных установках коромысло приводится во вращение электромотором.

Заливку расплавленного металла в опоку производят в следующей последовательности.

1. Расплавляют металл в тигле.
2. Вынимают опоку (при температуре 650°C) из муфельной печи и устанавливают на коромысло.
3. Тигель устанавливают к отверстию литника.
4. Металл все время без остановки плавят до тех пор, пока он не станет при перемешивании перекатываться («бегать») по тиглю.

5. Убирают газовую горелку и, освободив стопор, запускают установку.

При центробежном литье заполнение форм жидким металлом и его кристаллизация происходят под воздействием центробежных сил.

Напряженность поля центробежных сил q при вращении жидкого металла с угловой скоростью ω вокруг оси радиусом r определяется центробежной силой, приходящейся на единицу объема металла, и выражается формулой

$$q = \rho \frac{\omega^2 r}{g},$$

где ρ – плотность металла (г/см^3); ω – угловая скорость вращения (с^{-1}); r – радиус вращения произвольной точки (см.), g – ускорение свободного падения ($g=981\text{см/с}^2$).

Сила тяжести $Q = mg$ и центробежная сила q эквивалентны, так как их воздействие на какую-либо систему одинаково (тождественно). Поэтому силы тяжести можно заменить центробежными силами такой же или большей величины. Исходя из этого, можно считать жидкий металл, вращающийся вокруг оси радиуса r , утяжелившимся, а центробежные силы q принять за его плотность. Величину q называют эффективной плотностью. Отношение $G = \omega^2 r/g$ является коэффициентом пропорционально между величинами ρ и q . Его называют гравитационным коэффициентом. Величина G

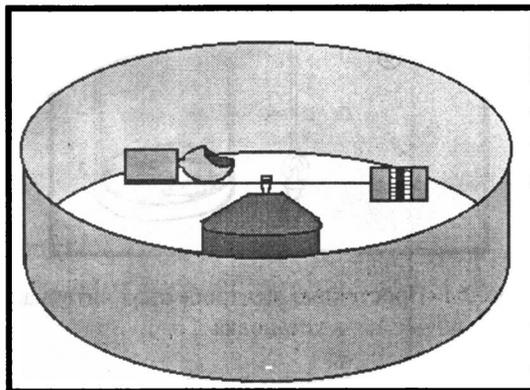


Рис. 3.5. Литейная установка в кожухе

при литье фасонных отливок равняется нескольким единицам.

Из гидравлики известно, что удельное давление на стенки сосуда, развиваемое вращающейся в нем жидкостью определяется уравнением

$$p = \frac{\rho \omega^2}{2g} (r^2 - r_0^2)$$

где r^2 и r_0^2 соответственно наружный и внутренний радиусы отливки.

Из этой формулы следует, что во вращающемся жидком металле давление пропорционально квадрату расстояния рассматриваемой точки от оси вращения и что на свободной поверхности металла ($r_0 = r$) при любой скорости вращения избыточное давление равно нулю.



3.3. Вакуумные литейные установки

Метод вакуумного литья основан на удалении воздуха из литейной формы во время заливки. За счет выкачивания из формы воздуха давление в полости формы понижается до 100-300 мм. рт. ст. Разность атмосферного давления в литейной форме создает искусственное избыточное давление жидкого металла на стенки формы, обеспечивая тем самым качественное воспроизведение отливками рельефа поверхности модели. Схема вакуумного литья показана на рисунке 3.6.

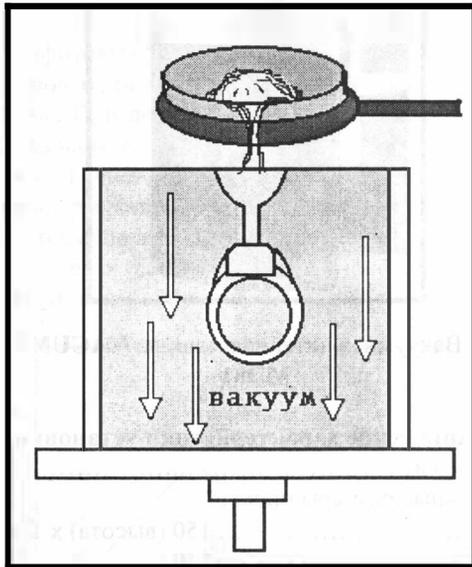


Рис. 3.6. Схема вакуумного литья

Установка «Вакуум –металл» (рис.3.7) состоит из рабочей камеры 2, где установлена опока 1, камеры предварительного разряжения 3, форвакуумного насоса 7 и пульта управления, на котором расположен манометр 5, сигнальная лампочка и выключатель насоса.

Для соединения рабочей камеры с камерой предварительного разряжения имеется вакуумный затвор 6 с рукояткой 4. В верхней части рабочей камеры имеется фланец с кольцевой уплотнительной прокладкой 8.

Вакуумное литье имеет следующие основные преимущества:

1. При вакуумном литье из-за отсутствия сопротивления воздуха в литейной форме можно получить качественные ажурные тонкостенные отливки.
2. Методом вакуумного литья получают плотные отливки без газовых раковин, корольков и других дефектов.
3. Способствует равномерной и быстрой заливке форм.
4. Создает возможность большого количества отливок за счет увеличения размеров опок.
5. Сокращает количество оборотного металла на литнике.
6. Улучшает условия труда на литейных участках.
7. Процент брака на металлической елочке получается практически нулевым.

8. Ковкость получаемых при вакуумном литье отливок является повышенной.
9. Сравнительно не принудительное введение металла в форму способствует получению гладкой поверхности изделий.

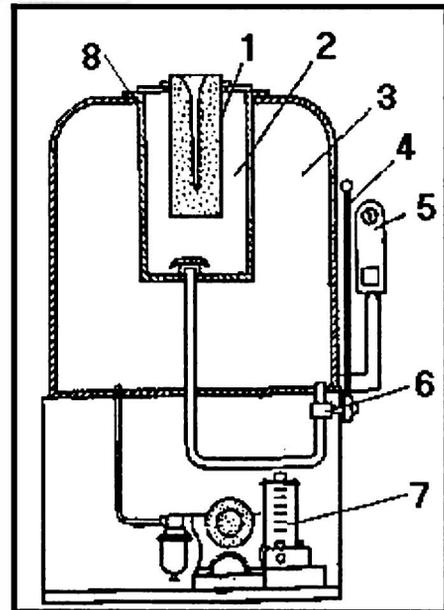


Рис. 3.7. Схема устройства "вакуум-металл"

Во всех приведенных выше установках заливка расплавленного металла в полости литейных форм происходит только принудительными методами из-за сложности конфигурации отливок. Для массивных единичных заготовок, для мастер-моделей заливку расплава в опоку можно провести под действием силы тяжести. При этом расплавленный металл просто заливают в опоку.

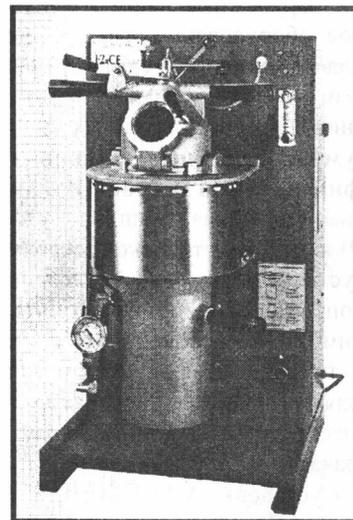


Рис. 3.8 Вакуумная литейная установка Neutec J-2r IV

Для получения сложных отливок в основном используются методы вакуумного или центробежного литья.

При центробежном литье жидкий металл затекает в форму, заполненную воздухом и газом который оказывает сопротивление жидкому металлу. При ваку-

умном литье это сопротивление равно нулю. Так как весь воздух из литейных форм при заливке высасывается форвакуумным насосом.

В книге Л.А. Гугова и др. «Художественное литье из драгоценных металлов» приведены результаты расчетов, где показано, что на установке центробежного литья **HSZ-15** давление жидкого металла составляет $9,8 \div 10,1 \times 10^4$ Па, а при литье методом вакуумного всасывания – $4,8 \div 6,9 \times 10^4$ Па. Т.е. давление жидкого металла при центробежном литье почти в два раза выше, чем давление при вакуумном литье.

Заполнение формы посредством такого большого давления является причиной нескольких отрицательных факторов:

1) абразия частиц формовочной массы со стороны металла и поглощение их отливками;

2) быстрое закрытие отверстия литника, без возможности выпуска воздуха и газов, т.е. остаточных газов от сгорания воска и газов, выделяющихся в момент заливки;

3) неравномерное распределение металлов сплава в отливке из-за сильной центробежной силы, которая располагает составные элементы сплава слоями;

4) хрупкость сплава из-за принудительного и резкого действия центробежной силы на отливки.



3.4. Промышленные литейные установки

Промышленные литейные установки представляют собой специализированные плавильно-заливочные агрегаты с центробежным столом и индукционными печами или печами электрического сопротивления для плавки.

Многие зарубежные фирмы выпускают вакуумное литейное оборудование, где заливка расплавленного металла происходит за счет перепада давления в плавильной и литейной камерах. Ниже приведены краткие описания некоторых литейных машин.

1. Вакуумная литейная установка VACUMCAST MDM фирмы Mario Di Maio (Италия).

Вакуумная литейная машина **VACUMCAST MDM** (рис.3.9) является установкой, снабженной автоматическими устройствами для определения температуры плавки, опрокидывания тигля, точной установки опоки и другими приспособлениями постоянно контролирующим процесс плавки. Автоматические устройства позволяют проводить абсолютно точное повторение процесса литья с минимальным процентом возможного брака.

Плавка в установке **VACUMCAST MDM** проводится в электрической плавильной печи, которая находится в защитной среде под вакуумом, с эффективной дегазацией жидкого сплава не только внутри тигля, но и при переходе плавленного металла из тигля в опоку. Продолжительность плавки при горячей печи менее 10 минут. Предварительно установленная температура сохраняется без выключения печи - таким образом, не прерывается процесс плавки. Плавка металла и его отливка в форму происходят без резких и сильных

действий, что позволяет получать качественные чистые отливки.

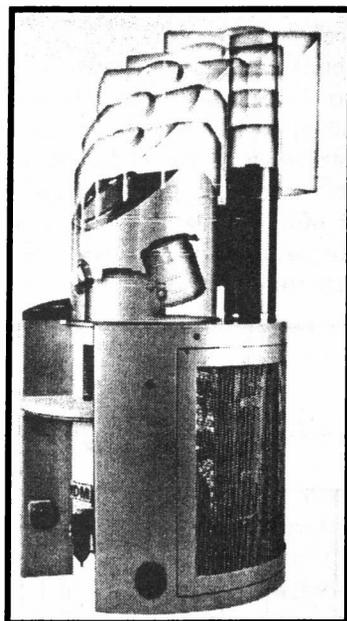


Рис.3.9. Вакуумная литейная машина **VACUMCAST MDM**

Технические характеристики установки

Мощность, кВт	2
Максимальные размеры опок:	
1000 г	150 (высота) x 120 (Ø)
2000 г	240 (высота) x 120 (Ø)
Вес нетто	430кг
Габаритные размеры:	
диаметр основания	85 см
высота	150 см

2. Электронная вакуумная литейная машина VCM II фирмы «Асег Галлани» (Италия).

Методом электронного литья с всасыванием можно получать очень сложные изделия из самых разных металлов.

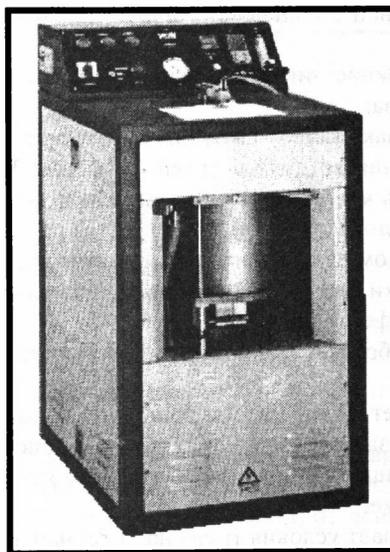


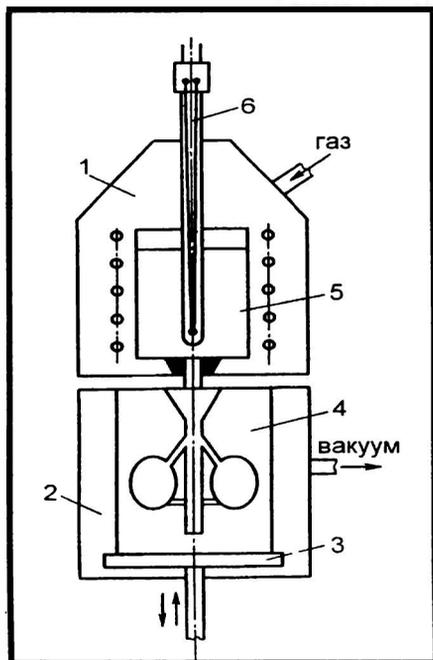
Рис.3.10. Электронная вакуумная литейная машина **VCM II**

На машине **VCM II** (рис. 3.10) металл в тигле плавится в инертной газовой среде за несколько минут.

Система контроля над температурой состоит из датчика - пирометра, погруженного в металл, и терморегулятора, с помощью которого возможны визуализация и стабилизация температуры до достижения полной текучести металла в тигле, который затем разливается в опоку за счет созданного в ней вакуума. Вакуумный насос установлен внутри самой машины.

На машине **VCM II** под тиглем может быть установлено устройство для производства гранул золота, серебра или их сплавов.

Принцип действия такой установки (рис. 3.11) заключается в следующем. Стопор-6 закрывает отверстие в графитовом тигле-5, в котором плавится металл. Для сплавов меди плавку проводят в среде инертного газа аргона. При достижении температуры литья, опоку-4 устанавливают в литейную камеру-2, где создается вакуум. Точное значение температуры показывает термопара, расположенная внутри стопора-6. Когда стопор с термопарой поднимают, металл под действием силы тяжести (собственного веса) и благодаря перепаду давления, перетекает из тигля в литейную форму.



1- плавильная камера; 2- литейная камера; 3-стол; 4-опока;
5- графитовый тигель; 6-стопор с термопарой.

Рис.3.11. Схема плавильно-заливочного узла установки **VCM II**

Технические характеристики установки **VCM II**

Мощность, кВт	6
Масса шихты, кг	
чистое золото.....	3
золото 750-й пробы	2,4
серебро 950-й пробы	1,6
Опоки, просверленные без фланца, размер, мм	
диаметр	150
высота	250
Сжатый воздух, атм	6
Газ: аргон или азот.	

3. Электронная литейная машина с центрифугой **MODULAR 6 NEW** фирмы «Асег Галлани» (Италия).

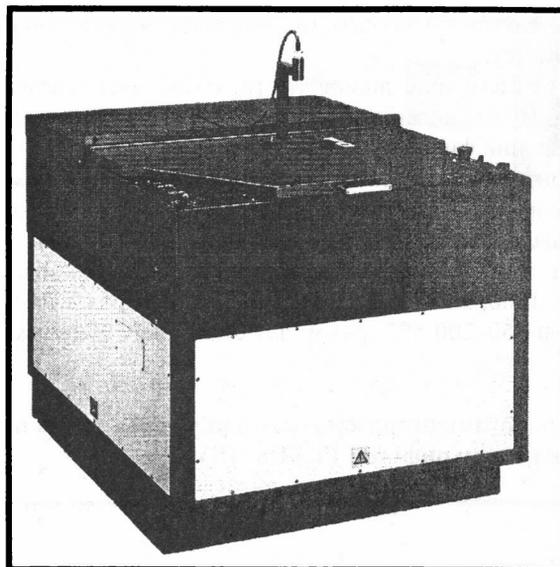


Рис.3.12. Электронная литейная машина с центрифугой **MODULAR 6 NEW**

Эта литейная машина имеет программируемые скорость центрифугирования и стартовое ускорение. Время вращения центрифуги (рис. 3.13) программируется в зависимости от количества металла.

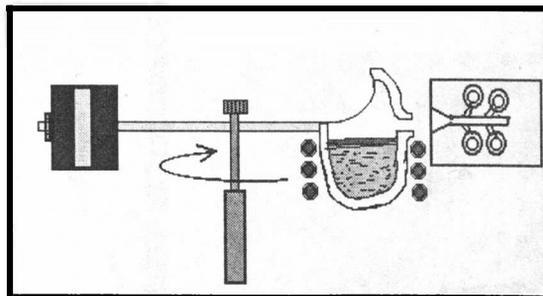


Рис.3.13. Схема плавильно-заливочного узла установки **MODULAR 6 NEW**

Расплав металла происходит в среде, насыщенной инертным газом (аргон или азот). Подача инертного газа осуществляется с пульта. На установке осуществляется автоматический подъем катушки индуктора при помощи пневматики. Индукционный ток способствует лучшему перемешиванию металла и ускоряет время разогревания любых драгоценных сплавов, даже самых сложных (рис. 3.14).

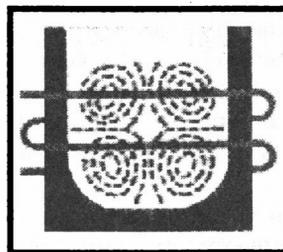


Рис.3.14. Схема индукционного нагрева и перемешивания металла

Рычаг центрифуги с изменяемой геометрией, установленный на машине, дает возможность достижения оптимального потока расплавленного металла в опоку и избежания турбулентности, которая порождает пористость. Это также способствует удалению газов через формомассу.

Отсасывание дымов из тигля осуществляется с пульта. При плавлении платины над тиглем устанавливается синий фильтр

Контроль температуры осуществляется при помощи оптической системы с инфракрасным зондом для платины, золота и серебра.

На этой установке используются тигли для золота на 500, 1000, 2000, и 3000 грамм; для платины – на 50-200, 100-350, 200-500 грамм; для стали - на 600 грамм.

5. Компьютеризованная вакуумная литейная машина с центрифугой FUSUS NEW.

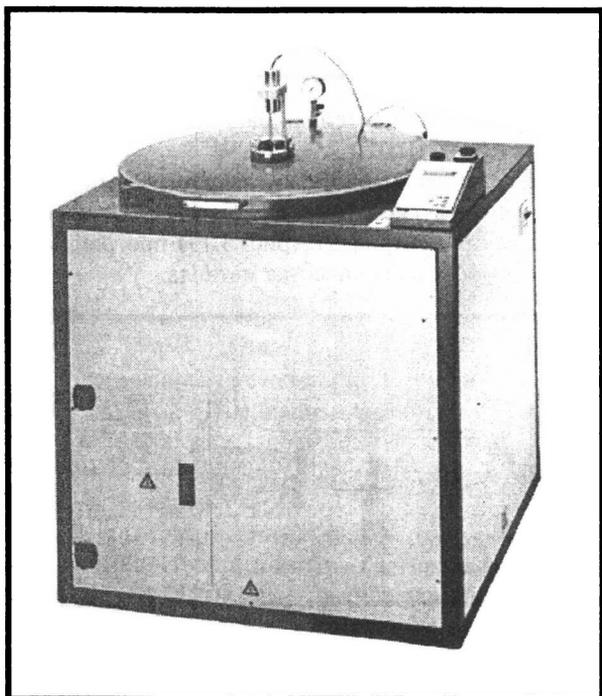


Рис.3.15. Компьютеризованная вакуумная литейная машина с центрифугой FUSUS NEW

Это литейная машина оснащена компьютером. Расплав металла происходит в вакууме с необходимым насыщением среды инертным газом (аргон или азот). Вакуум удаляет газы из опоки, а подача инертного газа предупреждает окисление металла при плавлении. Литейная установка FUSUS NEW позволяет отливать изделия, как из платины, так и из золота и серебра. Контроль над температурой платины осуществляется инфракрасным зондом, до 2100°C. Контроль над температурой золота и серебра осуществляется термомпарой, погруженной непосредственно в металл, вплоть до температуры 145°C.

Все функции задаются, и контролируется специальным микрокомпьютером, который обеспечивает высокое качество литья.

Технические характеристики установки

Мощность, квт	6
Масса шихты, кг	
чистое золото.....	2
платина	0,45
Опоки, размер, мм	
диаметр	120
высота	160
Сжатый воздух, атм.	6
Газ: аргон или азот.	



3.5. Плавильные установки

Плавление металла открытым пламенем можно проводить в тигле литейной машины, положив в него требуемое количество металла и добавив для предотвращения окисления немного борной кислоты и буры. Для плавки можно использовать бензиновую горелку (рис. 3.16), которая состоит из горелки–1, ножного насоса–2 и бочонка с бензином–3.

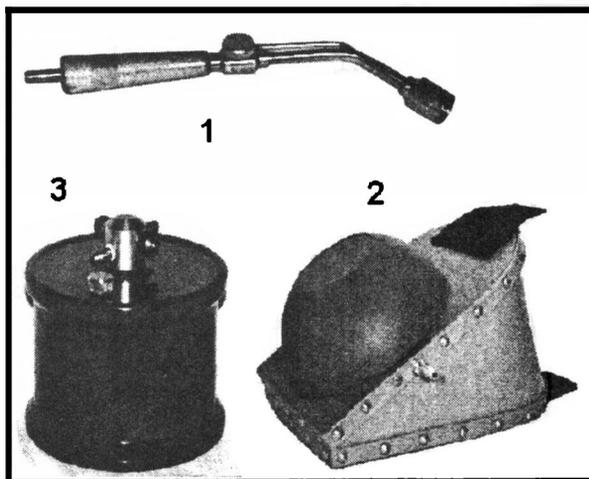


Рис. 3.16. Бензиновая горелка

Это самая простая и доступная бензиновая горелка, которую можно использовать для плавки и пайки металлов. Вместо ножного насоса иногда используют компрессор от холодильника или от конденсатора. Бензиновая горелка расплавляет 30-40 г серебра или золота за 2-3 минуты. Факел бензо-воздушной горелки состоит из двух зон: центральной – длиной острой «иглы» голубого цвета пламени с температурой на конце 1150°C и периферийной – оранжево-желтой с температурой 800-900°C.

В настоящее время появилось в продаже много различных газовых горелок, которые работают на газообразном пропане или ацетилене. Последний дает более качественное пламя, чем пропан или же газовые горелки, работающие на газе и сжатом воздухе.

Для плавки большого количества металла (от 1 до 10 кг) можно использовать газовые плавильные печи фирмы «Марио ди Майо», предназначенные для плавки драгоценных металлов и сплавов в графитовых тиглях (рис. 3.17). Печи работают на газовой смеси

состоящей из 20% бутана или природного газа и 80% воздуха.

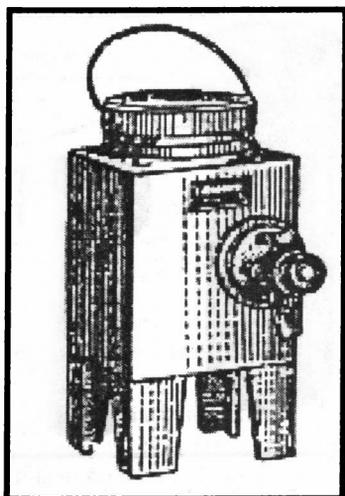


Рис. 3.17. Газовая плавильная печь

Электрическая тигельная печь (рис. 3.18) является более эффективным агрегатом, чем газовые печи. Она бесшумна, автоматически с точностью до 1°C контролирует температуру плавки. Можно плавить до 2 кг золота в зависимости от размеров печи и тигля. Кроме того, она обеспечивает расплаву защитную среду от окисления и изоляцию от воздуха.

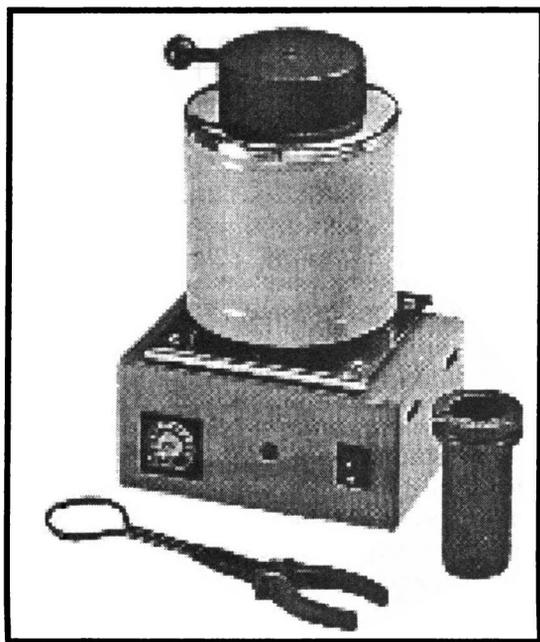


Рис. 3.18. Электрическая тигельная печь

Высокочастотные индукционные плавильные печи (рис. 3.19 и 3.20) обеспечивают быструю плавку. Но под воздействием тока металл интенсивно перемешивается и очень быстро насыщается газом. Поэтому рекомендуется выбирать печи, выпускаемые известными фирмами, где эти технологии отработаны.

Индукционная плавильная установка предназначена для плавки металлов небольших объемов (до 3 кг золота) в высокочастотных полях (рис. 3.19).

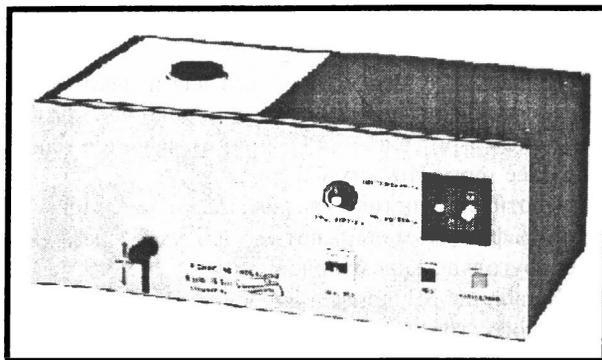


Рис. 3.19. Индукционная плавильная печь QUIMJOY IS200

Технические характеристики

Питание	220 в
Мощность	2,5 кВт
Рабочая частота	20 кгц
Максимальная температура	1200-1600 $^{\circ}\text{C}$
Тигли:	
Объем (на 3 кг)	160 см ³
Рабочая емкость	2 кг Au, 1,1 кг Ag
Вес	32 кг

Индукционная плавильная печь УПИ-0,5-3,0-440 выпускается Российской электротехнической компанией «РЭЛТЕК». Это установка состоит из двух блоков, связанных между собой кабелями питания и управления.

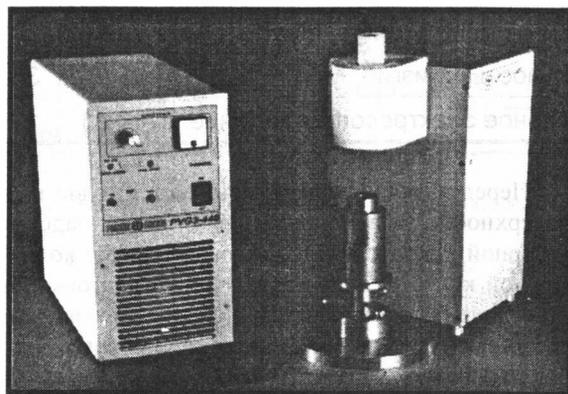


Рис. 3. 20. Установка УПИ-0,5-3,0-440

В первом блоке собран контур компенсации реактивной мощности индуктора плавильной печи. Плавка металла осуществляется в керамических тиглях объемом 60 см³ охлаждение индуктора и токового контура производится водой с расходом 0,5 л/мин.

Во втором блоке собран высокочастотный генератор мощностью 3 кВт и частотой 440 кгц. Генератор питается от однофазной сети 220В и имеет плавную регулировку частоты выходного тока. Время плавки 500 г меди не превышает 10 мин. Допустимая температура нагрева металла в кварцевом тигле 1600 $^{\circ}\text{C}$.



3.6. Тигли

Во всех литейных установках для плавки металлов пользуются тиглями. Наиболее широко используют графитовые тигли (рис. 3. 21). Графит является одним из наиболее термостойких материалов.

Плотность чистого графита 2,26 г/см³. Искусственный графит изготавливают из продуктов нефтяной и каменноугольной промышленности.

В таблице 3.1 приведены основные свойства искусственного графита разных марок. Теплопроводность графитовых форм соизмерима с теплопроводностью металлов, она значительно выше теплопроводности оксидных огнеупорных материалов. Коэффициент теплопроводности графита – 0,172 м²/с, а сухой песчано-глинистой формы – 0,0006 м²/с. Графит наряду с положительными свойствами (высокая тепло- и электропроводность, высокая термостойкость) имеет существенный недостаток – повышенную чувствительность к окислению (графит горит на воздухе при 700°С). Тигли, приготовленные из отечественных графитов марки МПГ7 и МПГ6, показали более высокие эксплуатаци-

онные свойства. Их стойкость по сравнению со стойкостью импортных тиглей в 1,5 раза выше.

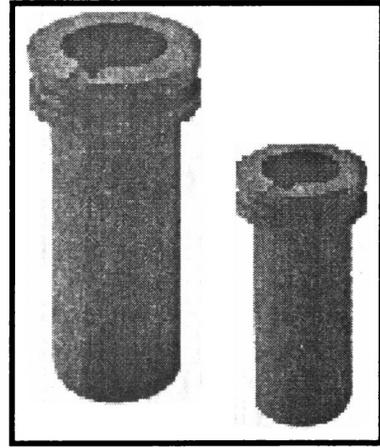


Рис. 3.21. Графитовые тигли

Свойства графита различных марок

Таблица 3. 1

Свойства материала	Марка графита							
	ГТ-1	ГТ-2	ГТ-3	ГТ-4	ГТ-5	ГТ-6	МПГ6	МПГ7
Плотность, г/см ³	1,8-1,9	1,7-1,8	1,6-1,7	1,6-1,7	1,6-1,7	1,7-1,8	1,6-1,7	1,6-1,7
Размер зерен, МПа	10	15	15		40	30		
Прочность на сжатия, Мпа	140	100	70	34		50-60	60-85	48-72
Прочность на разрыв, Мпа	30	20-22	18-20	6 - 8	6 - 7	11-15		
Прочность на изгиб, Мпа	48-70	38-50	34-38	11-13	11-13	20-30	27-42	24-38
Удельное электросопротивление,	10-11	13-15	14-15	9-11	10-13	15-18	15-18	15-19

Перед началом плавки металла в них внутренние поверхности новых графитовых тиглей надо покрыть борной кислотой. Для этого небольшое количество борной кислоты надо насыпать в графитовый тигель и расплавить в печи. Затем, наклоняя и поворачивая, покрывают внутреннюю поверхность тигля «глазурью». Это делается для того, чтобы мелкие графитовые частицы (порошок) не попадали в расплавленный металл.



3.7. Литейные свойства сплавов

Заполнение литейной формы металлом зависит от ряда физических (литейных) свойств. К литейным свойствам сплава относятся: поверхностное натяжение, вязкость, жидкотекучесть, линейная и объемная усадка и трещиностойкость.

3.7.1. Поверхностное натяжение

Поверхностное натяжение связано с жидким состоянием вещества. Оно оказывает существенное влияние на заполняемость литейных форм, образование струи металла при выпуске металла из тигля в форму и

на скорость распространения металла в форме. Поверхностное натяжение также связано с плотностью и атомной массой вещества формулой

$$\sigma = \frac{\alpha D}{A},$$

где α - коэффициент равный $7,87 \times 10^3$, мДж/м², D- плотность, A- атомная масса.

Поверхностное натяжение металлов за исключением меди уменьшается с повышением температуры. У меди наоборот, поверхностное натяжение увеличивается с повышением температуры.

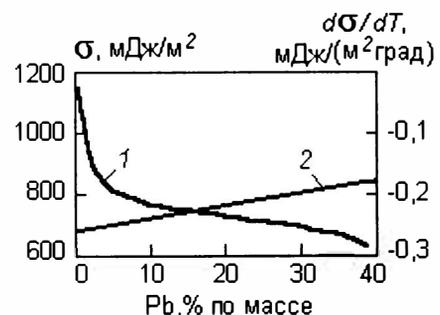
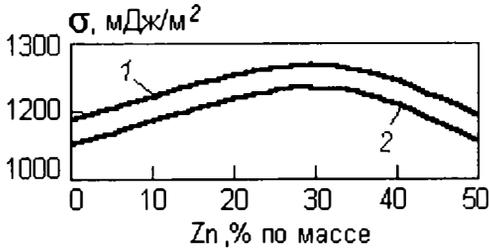


Рис. 3. 22. Поверхностное натяжение сплава медь-свинец при температуре 1200°С

На рис. 3.22 показано изменение величины поверхностного натяжения (1) сплавов медь-свинец и его температурный коэффициент.

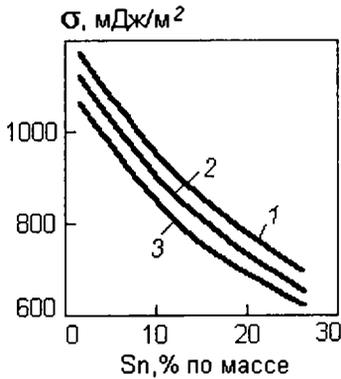


1-при 1100°C, 2-при 1200°C

Рис. 3.23. Поверхностное натяжение сплава медь-цинк

На рис. 3.23 показано изменение поверхностного натяжения сплавов системы медь-цинк. При содержании цинка в сплаве более 32% по массе поверхностное натяжение начинает уменьшаться.

В сплаве системы медь-олово с повышением температуры поверхностное натяжение снижается (рис.3.24).



1- при 1100°C, 2-1200°C, 3-1300°C

Рис. 3.24. Поверхностное натяжение сплава медь-олово

В тройных сплавах Au-Ag-Cu для понижения поверхностного натяжения непосредственно перед разливкой расплава в форму добавляют немного фосфористой меди, цинка или кадмия.

3.7.2. Вязкость

Вязкость является важной характеристикой для определения литейных свойств расплава. Она характеризует пустоту и внутреннее трение жидкого металла. Вязкость определяется как проявление сил сопротивления расплава к изменению его формы.

С повышением температуры вязкость уменьшается. Это объясняется тем, что при повышении температуры уменьшаются силы вне атомного взаимодействия и внутренне трение, особенно при температурах близких к температурам плавления металлов.

Динамическая вязкость определяется по формуле

$$\eta = \frac{F}{S \frac{dv}{dy}}$$

где η - коэффициент динамической вязкости, сПа; F - внешняя сила, г·см/сек²; S - площадь, см²; dv/dy - градиент скорости сдвига слоев, 1/с. Единицу динамической вязкости (сПа) называют пуазом. Значения вязкости некоторых металлов при температуре плавления приведены в таблице 3.2.

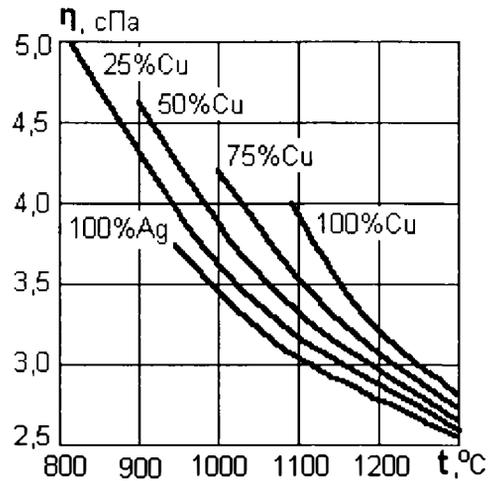


Рис. 3.25. Зависимость вязкости от температуры в системе серебро-медь

Значение вязкости некоторых металлов

Таблица 3.2

Металлы	Вязкость, г/см с	Металлы	Вязкость, г/см с
Медь	0,035	Кадмий	0,023
Цинк	0,034	Олово	0,019
Свинец	0,027		

Изменение вязкости сплава серебро-медь в зависимости от температуры даны на рис.3.25.

На рисунках 3.26 и 3.27 приведены изменения вязкости тройных сплавов Au-Ag-Cu при температуре 1000 и 1300°C.

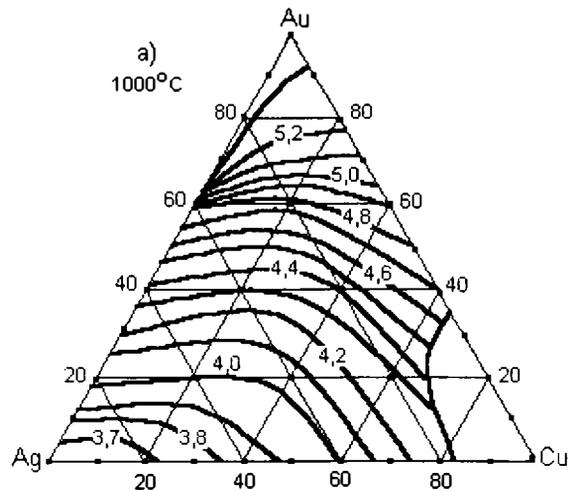


Рис. 3.26. Вязкость сплавов системы золото-серебро-медь при температуре 1000°C

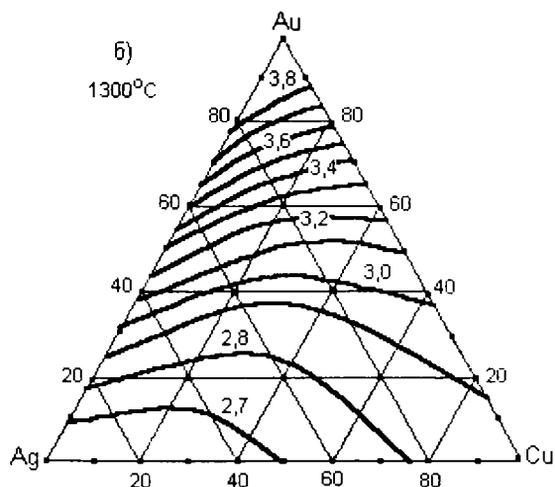


Рис. 3.27. Вязкость сплавов системы золото-серебро-медь при температуре 1300°C

Как видно из рисунков в сплавах Au-Ag-Cu вязкость существенно зависит от содержания в них золота и увеличивается с повышением его концентрации в среднем 0,1 сПа на каждые 50 проб металла. Увеличение же температуры расплава приводит к снижению его вязкости, в среднем на 0,2-0,3 сПа. на каждые 50°C.

Вязкость расплавленного флюса должна быть значительно больше вязкости расплава, чтобы флюс (шлак) оставался в тигле при заливке расплавленного металла в форму. Температура расплава при заливке в форму должна быть достаточной для того, чтобы при наклоне тигля флюсовое покрытие отходило назад и металл мог спокойно заполнить форму.

3.7.3. Жидкотекучесть

Жидкотекучесть это – способность расплава заполнять литейные формы. Величина жидкотекучести связано с теплофизическими свойствами металла и особенностями кристаллизации. Жидкотекучесть зависит от общего количества теплоты расплава, состоящего из количества теплоты выше точки плавления – Q_1 и теплоты кристаллизации – Q_2 . Так как теплота кристаллизации составляет 85-90% от общего количества теплоты, она является решающей при оценке жидкотекучести.

В таблице 3.3 приведены значения жидкотекучести некоторых металлов.

Жидкотекучесть некоторых металлов

Таблица 3.3

Металлы	Q_2 , Дж	Металлы	Q_2 , Дж
Цинк	20361	Олово	8108
Алюминий	22215	Свинец	4383

Экспериментально значение жидкотекучести металлов определяют по длине заполнения литейной формы изготовленной в виде спирали, с определенной площадью сечения спирального канала и с определенной длиной спирали.

Жидкотекучесть сплавов золота зависит от температуры, степени раскисленности и от вида раскислителей. В качестве раскислителей для сплавов золота желтого цвета используется фосфористая медь, цинк или кадмий. В качестве раскислителя для сплавов благородного белого золота используется цинк. Сплавы белого золота, содержащие палладий имеют плохие литейные свойства, т. е. обладают из-за высокого поверхностного натяжения слабой жидкотекучестью. Это затрудняет получения фасонных отливок, как при вакуумном литье, так и принудительном центробежном литье.

На рис. 3.28 приведены графики зависимости жидкотекучести меди от температуры для различных раскислителей.

По результатам многочисленных исследований отливок установлено, что при небольших добавках никеля, цинка и других компонентов жидкотекучесть бинарных сплавов резко увеличивается.

Графики зависимости жидкотекучести сплавов медь-цинк и медь-никель от концентрации компонент приведены на рисунках 3.29 и 3.30. Как видно из рисунков жидкотекучесть меди резко растет при небольших добавках (0,5–1,0% по массе) цинка и никеля.

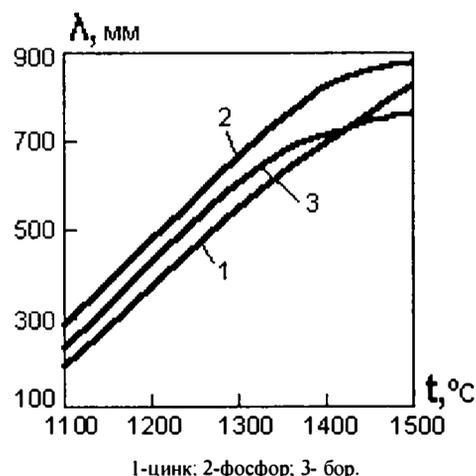


Рис. 3.28. Зависимость жидкотекучести меди от температуры
1-цинк; 2-фосфор; 3- бор.

Добавление долей процента цинка в расплав золото-серебро-палладий перед разливкой оказывает раскисляющее действие, понижает температуру плавления и повышает жидкотекучесть сплава.

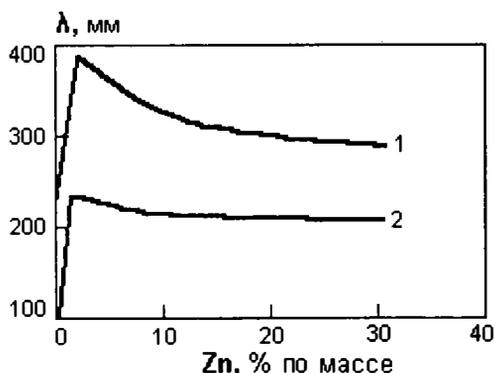
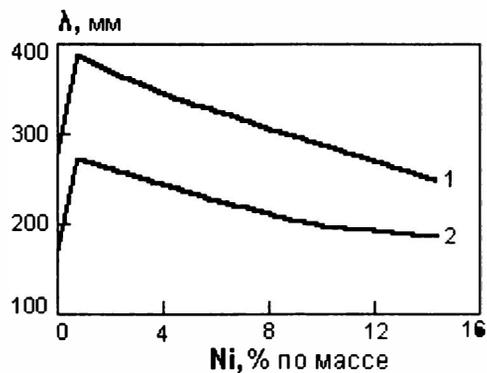


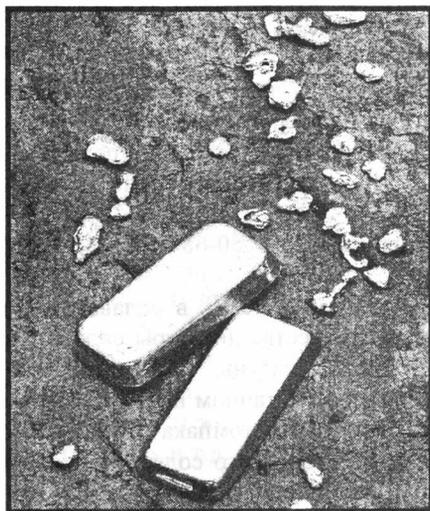
Рис. 3.29. Жидкотекучесть сплавов системы медь-цинк
1- при литье в песчаные формы; 2- в кокиль



1- при литье в песчаные формы; 2- в кокиль
Рис. 3.30. Жидкотекучесть сплавов системы медь-никель



3.8. Химический состав сплавов золота и их получение



Ювелир – литейщик обычно приобретает золото или в виде сплава желаемой пробы, или в виде золотого лома. При отсутствии таких возможностей, сплав золота, соответствующей пробы и химического состава, можно приготовить самому. В этом случае основными задачами литейщика являются контроль химического состава сплавов, который должен соответствовать требованиям ГОСТа, и учет угара элементов при плавке и литье.

Рассмотрим несколько примеров приготовления сплавов золота, соответствующей пробы.

3.8.1. Примеры расчетов составов сплавов золота

Пример 1. Сколько граммов лигатуры (масса сплава, необходимая для понижения пробы) надо добавить к 25 гр. чистого золота 999,9-й пробы, чтобы получить сплав 585-й пробы?

Формула понижения пробы имеет вид

$$m = \frac{M(\Pi_0 - \Pi_1)}{\Pi_1}$$

Здесь m – масса лигатуры; M – масса имеющегося золота; Π_0 – проба имеющегося золота; Π_1 – желаемая проба.

$$m = 25(999,9 - 585)/585 = 17,7 \text{ гр.}$$

Таким образом, для получения сплава золота 585-й пробы, надо к 25 гр. чистого золота добавить 17,7 гр. лигатуры.

Пример 2. Сколько граммов чистого золота надо добавить к 25 гр. золота 500-й пробы, чтобы получить сплав 585-й пробы?

Формула повышения пробы имеет вид

$$T = \frac{K(\Pi_1 - \Pi_2)}{\Pi_0 - \Pi_1}$$

Здесь T – масса чистого золота; K – масса сплава золота пробу которого надо повысить; Π_0 – проба чистого золота; Π_1 – желаемая проба; Π_2 – проба имеющегося золота.

$$T = 25(585 - 500) / (999,9 - 585) = 5,2 \text{ гр.}$$

Значит, для получения сплава золота 585-й пробы надо к 25 гр. золота 500-й пробы добавить 5,12 гр. золота 999,9-й пробы.

Пример 3. Сколько граммов меди и серебра надо добавить к 46 гр. чистого золота 999,9 пробы, чтобы получить сплав золота 750-й пробы с химическим составом **ЗлСрМ750-150**?

Сначала определим по формуле понижения пробы, сколько граммов лигатуры «медь-серебро» надо добавить к 46 гр. чистого золота

$$m = 46(999,9 - 750) / 750 = 15,3 \text{ гр.}$$

Это означает, чтобы получить сплав 750-й пробы к 46 гр. чистого золота надо добавить 15,3 гр. лигатуры «медь-серебро».

Маркировка **ЗлСрМ750-150** или **Зл75.0 Ср15.0 М10.0** означает, что в сплаве 75% золота, 15% серебра и 10% меди

Чтобы определить какое количество серебра в граммах содержится в 15,3 гр. лигатуры надо составить пропорцию:

$$\begin{array}{l} 75,0 - 15,0 \\ 46 - X \end{array}$$

Отсюда $X = 46 \times 15,0 / 75,0 = 9,2 \text{ гр.}$

Значит в 15,3 гр. лигатуры содержится 9,2 гр. серебра. Количество меди можно определить, отнимая из общей массы лигатуры массу серебра:

$$15,3 - 9,2 = 6,1 \text{ гр.}$$

Итак, чтобы получить сплав золота 750-й пробы, к 46 гр. чистого золота надо добавить 9,2 гр. серебра и 6,1 гр. меди.

Пример 4. Сколько граммов золота 900-й пробы надо добавить к 51 гр. золота 585-й пробы, если требуется получить сплав 750-й пробы?

Воспользуемся формулой повышения пробы

$$T = 51(750-585) / (900-750) = 56,1 \text{ гр.}$$

Пример 5. Сколько граммов чистого золота содержится в 64,5 гр. сплава 585-й пробы?

Чтобы определить сколько граммов чистого золота содержится в сплаве, если его проба известна, надо массу сплава умножить на пробу:

$$64,5 \times 0,585 = 37,7 \text{ гр.}$$

Значит, в 64,5 гр. сплава золота содержится 37,7 гр, чистого золота, остальные 26,8 гр. – лигатура.

Пример 6. Имеется 15 гр. золота 900-й пробы, 25 гр. золота 700-й пробы, 60 гр. золота 500-й пробы и 70 гр. золота 375-й пробы. Определить какой пробы будет слиток из этих металлов.

Чтобы определить среднюю пробу нескольких слитков разных проб, надо суммарное содержание чистого металла, разделить на общую массу сплава.

Определим содержание чистого золота в каждом слитке. Для этого умножим вес металла на его пробу:

$$15 \times 0,900 = 13,5 \text{ гр.}$$

$$25 \times 0,700 = 17,5 \text{ гр.}$$

$$60 \times 0,500 = 30,0 \text{ гр.}$$

$$70 \times 0,375 = 26,25 \text{ гр.}$$

Определим пробу общего слитка:

$$(13,5 + 17,5 + 30,0 + 26,25) / (15 + 25 + 60 + 70) = 170 / 87,25 = 0,513.$$

Таким образом, слиток массой 170 гр. будет иметь 513-ю пробу.

При изготовлении сплавов золота, соответствующей пробы, часто приходится встречаться с необходимостью перевода процентного содержания компонентов в сплаве в граммы.

Для этой цели можно воспользоваться таблицами, приведенными ниже. С их помощью можно отыскать для различных сплавов нужные пробы и массы в процентах и граммах. По этим таблицам можно также определить, какое количество компонентов (в граммах), соответствующих данному составу сплава, надо добавить к 10 граммам чистого золота 999,9-й пробы, чтобы получит сплав желаемой пробы.

3.8.2. Пример расчета шихты для плавки сплавов золота

При плавке сплавов золота бывают различные потери. При плавке электролитически чистых металлов потери незначительные. При плавке легированных сплавов получают значительные потери – особенно, если в качестве примесей используются легкоплавкие металлы, например, как цинк или кадмий.

В таблице 3.4 приведены потери, получающиеся при плавке некоторых металлов.

Пусть, нам нужно получить 50 гр. сплава следующего состава: Au-58,3%, Ag-32,5%, Cu-8,97%, и Zn-2%.

Угар элементов при плавке (%)

Таблица 3.4

Au	Ag	Cu	Ni	Zn
0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,5	0,3-0,8	2-10

Расчет шихты с учетом угара при плавке проводим по формуле:

$$X_m = \frac{NX_c}{100 - y},$$

где X_m – расчетное содержание элементов шихты в граммах; N – масса готового сплава в граммах; X_c – процентное содержание элемента в готовом сплаве; y – процент угара при плавке.

$$Au = 50 \times 58,3 / (100 - 0,2) = 29,2 \text{ гр.}$$

$$Ag = 50 \times 32,5 / (100 - 0,5) = 16,3 \text{ гр.}$$

$$Cu = 50 \times 8,97 / (100 - 1,5) = 4,55 \text{ гр.}$$

$$Zn = 50 \times 2,0 / (100 - 10) = 0,111 \text{ гр.}$$

В ювелирном деле медь используется главным образом в сплавах золота и серебра. Он также используется для получения различных сплавов с простыми металлами. Наиболее используемые из них: **латунь** – 64-72%Cu и 36-28% Zn; **томпак** – 85-90%Cu и 15-10%Zn; **низильбер** – 50-68%Cu, 31-19%Zn и 19-13%Ni.

Иногда вместо меди в сплавах золота удобно использовать в качестве лигатуры сплавы меди с простыми металлами (латунь, томпак, нейзильбер). Например, если в рассчитанном выше сплаве вместо цинка использовать 1 гр. томпака ЛТ90, состоящую из 90% меди и 10% цинка, то содержание меди в сплаве золота надо уменьшить на 0,90 гр., т.е. вместо 4,55 гр. взять 3,65 гр.

3.8.3. Лигатуры к сплавам золота 585-й и 750-й пробы

Необходимым условием для изготовления сплавов благородных металлов с отличными механическими и литейными свойствами является применение при легировании химически чистых или, по крайней мере, чистых компонентов (серебро, медь, палладий, цинк, никель, кадмий и др.).

Процесс изготовления сплава белого золота, более чувствительного к различным примесям, очень сложен. Сложной является также и переплавка отходов белого золота с сохранением исходных механических свойств.

Умение изготовить сплавы нужного качества весьма полезно для мастера литейщика. Однако успех зависит от многих причин, в том числе от опыта работы, и дается только при соблюдении следующих правил и условий.

1. Необходимо остерегаться излишнего перегрева расплавленных металлов.

2. Металлы в сплаве, значительно различающиеся по удельному весу, должны особенно тщательно

перемешиваться в расплавленном состоянии во избежание расслаивания (ликвации).

3. Поверхность расплавленных металлов, должна быть прикрыта или флюсующими веществами, например, содой, бурой, борной кислотой или древесным углем.

Многие ювелиры, работающие в мастерских, не имеют возможности для легирования сплавов с использованием электролитически чистых металлов и легкоплавких примесей (цинк, кадмий и т.д.).

В настоящее время в магазинах, торгующих ювелирным оборудованием, появились различные лигатуры для сплавов золота. Эти сплавы - лигатуры приготовлены из самых чистых металлов и с применением специальных раскислителей. Кроме того, они содержат добавки, улучшающие структуру сплава и придающие им высокую стойкость к окислению и многократным переплавкам. При литье из таких сплавов изделия имеют низкую пористость.

Для обеспечения высококачественного литья необходимо соблюдать следующие требования:

1. При использовании литейных сплавов фирмы **ЛегОр** необходимо учитывать высокую температуру их плавления. В зависимости от состава сплава температура плавления колеблется от 1000 до 1050 °С.

2. В этой связи необходимо поддерживать более высокую температуру опоки.

3. Также важно соблюдать технологию охлаждения опок. Опoki для желтого золота надо выдержать 15-20 мин. прежде чем приступить к резкому охлаждению. Опoki для белого золота надо выдержать 10-15 минут.

4. Для защиты металла сплав рекомендуется покрывать борной кислотой.

5. Плавить сплавы желательно в печах (электрических, индукционных и т.д.), т. е. не открытым пламенем.

Для приготовления литейного сплава золота с использованием лигатуры фирмы **ЛегОр**, надо расплавить вместе чистое золото и лигатуру при температуре около 1050 °С. Физические свойства и технология применения сплавов фирмы **ЛегОр** описывается ниже в таблицах. Например, для приготовления 100 гр. сплава 585-й пробы необходимы: 58,5 гр. золота 999,9-й пробы и 41,5 гр. лигатуры соответствующей 585-й пробе (см. таблицу 3.6). Из таблицы 3.7 можно выбрать лигатуру OG602F, соответствующую цвету золота состава (Au-58,5 Cu-25 Ag-16,5).

Составы лигатур фирмы **ЛегОр** для золота красного и желтого цвета (OR, OG): Cu, Zn, Ni; для золота белого цвета (OB): Cu, Ni, Zn; для припоев из золота желтого, красного и белого цвета (LSG, LSR, LSB): Cu, Ag, Zn, In.

При приготовлении припоя для серебра следует использовать следующие формулы:

Ag (50 гр.) + LSA425 (50 гр.) - мягкий припой для пайки цепочек и пластин.

Ag (60 гр.) + LSA425 (40 гр.) - средний припой для проволоки и пластин.

При плавке загружают тигель по указанной на рис.3.30 схеме. Плавку лучше проводить в электропечах. Ее преимущество заключается в чистоте, сокращении времени плавки и возможности регулировать тем-

пературу. Потери при такой плавке являются незначительными.

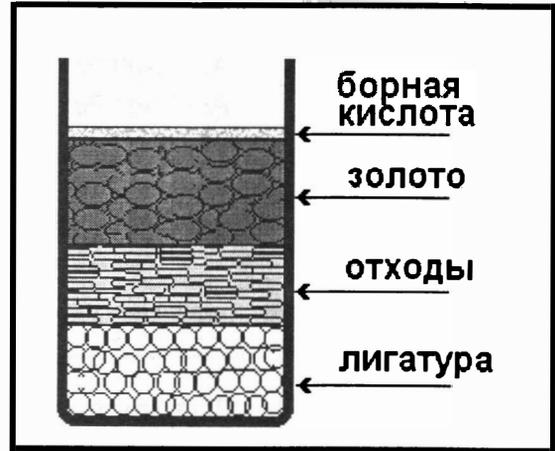
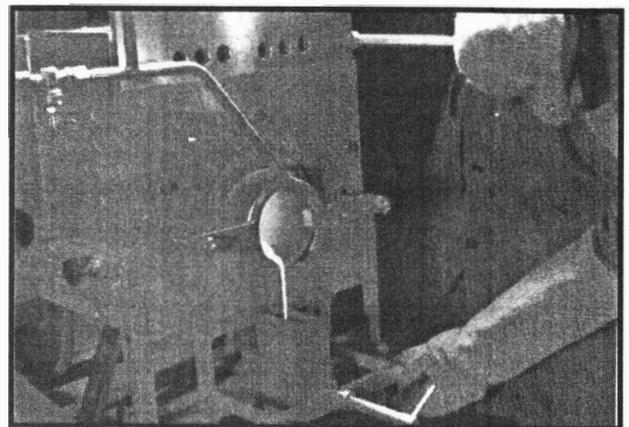


Рис. 3.30. Схема загрузки тигля для сплавов золота.

3.8.4. Бескадмиевые припой

Кадмий, используемый в настоящее время в припоях для металлов, токсичен. Его воздействие на организм человека, носит долгосрочный кумулятивный характер. Кадмий является канцерогенным веществом. Он накапливается в таких органах, как печень и почки, его трудно вывести из организма.

В таблице 3.11 приведены лигатуры для бескадмиевых припоев, которые применяются для любых целей, начиная от сплавов с большой текучестью и кончая сплавами для точного литья, производства проволоки и тонколистового проката. Разнообразие цветов позволяет создавать любые комбинации на основе исходных сплавов.



Перевод процентов в граммы для различных сплавов золота 750-й пробы

Таблица 3.5

Марка сплава	Доля компонент, %	Массовая доля компонент, гр.						Цвет
		Au	Ag	Cu	Pd	Ni	Zn	
ЗлСрПдН 750-90-140	Au75 Ag9 Pd14 Ni2	10	1,20	-	1,86	0,26	-	Белый
ЗлСрПдН 750-70-140	Au75 Ag7 Pd14 Ni4	10	0,93	-	1,86	0,53	-	Белый
ЗлСрМ 750-125	Au75 Ag12,5 Cu12,5	10	1,66	1,66	-	-	-	Желтый
ЗлСрМ 750-150	Au75 Ag15 Cu10	10	2,00	1,33	-	-	-	Желтый
Сплав золота фирмы "Хэнди энд Хармен"	Au75 Cu7 Zn4 Ni14	10		0,93		1,86	0,53	Белый

Перевод процентов в граммы для различных сплавов золота 583-й и 585-й проб

Таблица 3.6

Марка сплава	Доля компонент, %	Массовая доля компонент, гр.						
		Au	Ag	Cu	Pd	Ni	Zn	
ЗлСрМ585-80	Au58,5 Ag8 Cu33,5	10	1,36	5,72	-	-	-	Красный
ЗлСрМ583-80	Au58,3 Ag8 Cu33,7	10	1,36	5,78	-	-	-	Красный
ЗлСрМ583-300	Au58,3 Ag30 Cu11,7	10	5,14	2,00	-	-	-	Зеленый
ЗлСрПд583	Au58,3 Ag25,7 Pd16	10	4,40	-	2,74	-	-	Белый
ЗлМ583	Au58,3 Cu41,7	10	-	7,15	-	-	-	Ярко-красный
Сплав золота фирмы "Хэнди энд Хармен"	Au58,3Ag5Cu30Zn6,7	10	0,85	5,14	-	-	1,14	Желтый
Сплав золота фирмы "Хэнди энд Хармен"	Au58,3Cu22,1Zn8Ni10,8	10	-	3,79	-	1,85	1,37	Белый
Сплав золота фирмы "Хэнди энд Хармен"	Au58,3Ag32,5Cu8,97Zn20	10	5,57	1,53	-		3,43	Зеленый

Лигатуры для красного золота

Таблица 3.7

Код лигатуры	Т-плавления, °С	Проба	Т-плавления золота, °С	Т-отжига, °С	Твердость по Бринелю	Соответствие цвету
OG608Y	830	900	910	600	135	Au75Ag22Cu3
OG627S	870	900	920	600	130	Au75Ag10Cu15
OG606T	805	750	880	580	140	Au75Ag17Cu8
OG606	800	750	890	580	140	Au75Ag16Cu9
OG6061	780	750	870	580	145	Au75Ag15Cu10
OG605C	780	750	865	580	145	Au75Ag13Cu12
OG604O	850	585	860	620	160	Au58,5Ag20Cu21
OG602F	880	585	880	620	148	Au58,5Ag16,5Cu25
OG627S	870	585	870	620	150	Au58,5Ag15Cu 26,5
OG602GE	925	585	900	620	160	Au58,5Ag14Cu27,5
OG601MF	948	585	900	620	160	Au58,5Ag13Cu28,5
OG602F	880	375	900	640	125	Au33,3Ag35Cu31,7
OG627S	870	375	890	640	130	Au33,3Ag31Cu35,7
OG601	960	375	860	640	120	Au33,3Ag14Cu52,7
OR135D	1055	750	950	580	180	Au75Ag2Cu23
OR135A	1041	750	930	580	175	Au75Ag3Cu22
OR135P	1039	750	920	580	175	Au75Ag4Cu21
OR134	1050	750	950	580	155	Au75Ag3Cu22
OR132	930	750	895	580	165	Au75Ag5Cu20
OR135A	1041	585	880	620	170	Au58,5Ag3Cu38,5

OR134	1039	585	880	620	165	Au58,5Ag5Cu36,5
OR136	1005	585	870	620	160	Au58,5Ag8Cu33,5
OR134	1041	375	910	620	155	Au37,5Ag5Cu57,5
OR131	1000	375	895	620	155	Au37,5Ag7Cu55,5

Лигатуры для белого золота

Таблица 3.8

Код лигатуры	Т-плавления, °С	Проба	Т-отжига, °С	Твердость по Бринелю	Примечания
OB302F	1130	585	620	135	Литье, штамповка и тонколистовой прокат. Покрытие родием не требуется.
OB304R	1130	585	620	140	Универсальный сплав для любой механической обработки. Мягкость и легкость обработки в сочетании с наилучшим цветом.
OB585QP	1140	585	640	150	Литье, тонколистовой прокат. Покрытие родием не требуется.
OB304R	1130	750	640	170	Изделия, подвергаемые пластичной деформации. Мягкость и легкость обработки. Покрытие родием не требуется.
OB585N	1145	750	640	175	Цепочки ручной вязки. Очень тонкий прокат для волочения
OB325F	1165	750	640	180	Мягко для штамповки и тонколистового проката. Покрытие родием не требуется.
OB330S	1175	750	640	190	Литье. Тонколистовой прокат.
OB750N	1200	750	640	230	Литье. Покрытие родием не требуется.
OB750Q	1200	750	640	230	Литье.

Лигатуры для белого золота без содержания никеля

Таблица 3.9

Код лигатуры	Т-плавления, °С	Проба	Т-отжига, °С	Твердость по Бринелю	Примечания
OB4C	840	500	580	85	Цепочка машинного производства. Листовой прокат и проволока. Покрытие родием требуется.
OB5C	870	500	580	46	Листовой прокат и проволока. Покрытие родием не требуется.
OB314	1060	585	750	90	То же самое
OB315A	1100	585	800	100	Универсальный сплав для всех видов механической обработки.
OB316A	1145	750	800	100	То же самое
OB316A	1145	750	800	100	То же самое

Лигатуры для серебра

Таблица 3.10

Код лигатуры	Т-плавления, °С	Проба	Ликвидус, °С	Солидус, °С	Примечания
AG 101	1015	925	920	900	Сплав для литья
AG 103	1027	925	890	860	Сплав для точного литья
AG 100M	1042	925	920	880	Сплав для литья и проката пластин
OG 131A	1048	835	830	800	Сплав для получения проволоки и листового проката
OG 131I	1010	925	925	885	То же самое
OR 131G	1020	925	910	880	Сплав для литья.

Лигатуры для бескадмиевых припоев

Таблица 3.11

Код лигатуры	Т-плавления, °С	Проба	Текущность	Ликвидус, °С	Солидус, °С	Т-отжига, °С
LSG404	570	900	Средняя	850	820	560
LSG405	590	750	Большая малая	710	690	480
LSG406A	630	750	Очень большая	720	700	480
LSG406B	660	750	Большая	735	710	500
LSG408	710	750	Средняя	755	725	500
LSG411	720	750	Средняя малая	793	760	500
LSG409	730	750	Малая	805	785	500
LSG409	730	585	Большая	740	718	520
LSG412	735	585	Средняя	774	757	520
LSG413	740	585	Малая	807	795	520
LSG419	730	375	Очень большая	730	695	520
LSG420	750	375	Средняя большая	763	743	520
LSG417	770	375	Средняя малая	795	777	520
LSR488	820	750	Средняя малая	800	780	540
LSR489	890	750	Средняя малая	810	790	540
LSB475	800	750	Средняя	850	830	560
LSB455	805	585	Большая	800	775	560
LSB454	825	585	Средняя	830	810	560
LSG404	570	900	Средняя	850	820	560
LSG405	590	750	Большая малая	710	690	480
LSG406A	630	750	Очень большая	720	700	480
LSG406B	660	750	Большая	735	710	500
LSG408	710	750	Средняя	755	725	500
LSG411	720	750	Средняя малая	793	760	500
LSG409	730	750	Малая	805	785	500
LSG409	730	585	Большая	740	718	520
LSG412	735	585	Средняя	774	757	520
LSG413	740	585	Малая	807	795	520
LSG419	730	375	Очень большая	730	695	520
LSG420	750	375	Средняя большая	763	743	520
LSG417	770	375	Средняя малая	795	777	520
LSR488	820	750	Средняя малая	800	780	540
LSR489	890	750	Средняя малая	810	790	540
LSB475	800	750	Средняя	850	830	560
LSB455	805	585	Большая	800	775	560
LSB454	825	585	Средняя	830	810	560



3.9. Расчет количества металла, необходимого для отливок

Удельный вес воска приблизительно равен удельному весу воды, т. е. можно считать, тоже равен единице. Поэтому формулу для определения веса металла, необходимого для отливки, можно записать в следующем виде

$$P = P_{\text{в}} \times \rho_{\text{м}} + P_{\text{д}},$$

где P – вес необходимого количества металла для отливки; $\rho_{\text{м}}$ – удельный вес металла; $P_{\text{д}}$ – дополнительное количество металла требуемого для образования литниковой чаши; $P_{\text{в}}$ – вес восковой елочки.

Чтобы провести плавку металла в тигле, необходимо определить количество расплавленного металла,

необходимое для получения отливок, заложенных в форму.

Удельные веса некоторых металлов

Таблица 3.12

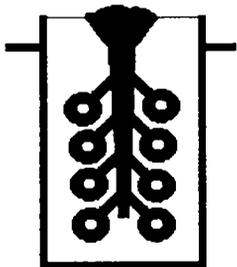
Металлы	Удельный вес, г/см ³
Желтое золото 585-й пробы	13,07
Белое золото 585-й пробы	12,61
Желтое золото 750-й пробы	15,58
Серебро	10,40
Платина	21,45

Так как удельный вес литейного воска приблизительно равен единице, а удельный вес желтого золота 585-й пробы -13,07 (табл. 3.12), то для определения необходимого количества металла для отливок, надо взвесить восковую «елочку» и полученное число в граммах умножить на 13,07. Кроме того, к полученному количеству металла надо добавить еще и вес литниковой чаши. Это число и есть необходимое количество металла для плавки в граммах.

Литниковая чаша – это дополнительный металл, который заполняет верхнюю часть литникового отверстия, после того как расплавленный металл залит в форму. Дополнительный металл для литниковой чаши мастера подбирают опытным путем для каждой опоки. Обычно принимается 15-20% от веса остального металла.

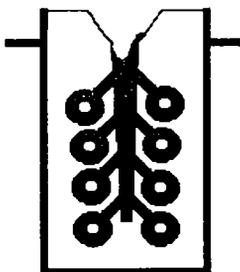
Ниже приводятся возможные случаи при заливке металла в форму.

1. Металла было достаточно, образовалась нормальная литниковая чаша.

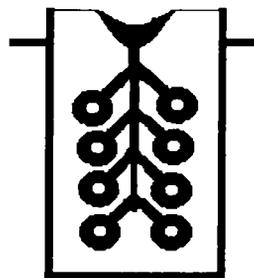


Так как литниковая чаша намного толще, чем отливки, металл дольше остается в жидком виде, и, следовательно, отливки в модельных полостях подпитываются при кристаллизации.

2. Металла было мало, нет литниковой чаши, в отливках могут быть поры.



3. Металла было недостаточно, нет нормальной литниковой чаши. Стояк (литник) тоньше, чем отливки, могут быть поры.



Если металла на литниковой чаше слишком мало и стояк (литник) тоньше, чем отливки, то металл чаши и литника затвердевает раньше, и из-за усадки при кристаллизации вытягивает (всасывает) еще не затвердевший металл в отливках, что может привести к пористым отливкам.



3.10. Плавка сплавов золота

Подобрав для требуемой пробы золота химический состав (лигатуру и золото) и поместив в графитовый тигель лигатуру, борную кислоту и золото в указанном порядке, проводим плавку. Температура заливки металла зависит от цвета золота (вида лигатуры), метода литья (центробежный, вакуумный) и вида изделий (тонкие, толстые, массивные). Например, для белого золота 585-й пробы лигатурой ОВ306А температура плавления 940°С.

Температура опоки и температура заливки для этой лигатуры приведены в таблице 3.13.

Температуры опоки и заливки

Таблица 3.13

Вид изделий	Метод литья		
	Центробежный	С вакуумированием	В вакууме
Тонкие	660°С	720°С	640°С
	990°С	1020°С	1000°С
Средние	580°С	660°С	600°С
	970°С	1000°С	980°С
Массивные	530°С	620°С	560°С
	950°С	980°С	960°С

Температуру заливки можно приблизительно определить также по формуле

$$T_3 = T_n + 50 \div 70^\circ \text{C},$$

где T_3 – температура заливки; T_n – температура плавки. Температуру заливки некоторых металлов и сплавов приведены в таблице 3.14.

Температура заливки некоторых металлов и сплавов

Таблица 3.14

Металл	Т металла, °С	Т опоки, °С
Алюминий	680-750	200-300
Серебро	950-1050	400-450
Латунь	960-1040	450-650
Золото желт., 375	940-1040	550-670
Золото бел., 375	970-1080	550-670
Золото желт., 585	900-1000	550-670
Золото бел., 585	1150-1250	550-670
Золото желт., 750	950-1040	550-670
Золото бел., 750	1025-1125	600-730
Золото, 900	1000-1050	600-730

Основные положения правильного проведения процесса плавки сплавов золота в тигле следующие.

1. Использовать максимально чистые исходные составляющие - золото, серебро, медь, никель, цинк и др.

2. Загрузить компоненты в тигель в следующем порядке: в первую очередь металлы, имеющие высокую температуру плавления и не растворяющие вредные газы (например, чистое золото). Компоненты с повышенной летучестью надо вводить в сплав только после расплавления других составляющих и понижения температуры расплава до минимума. Схема загрузки тигля представлена на рисунке 3.30.

3. Защитить расплав от окисления в процессе плавления сплавов золота с помощью борной кислоты, а для сплавов серебра - с помощью прокаленного древесного угля.

4. Раскислить сплавы золота и серебра с помощью элементов, образующих оксиды с высокой упругостью (цинк, кадмий, фосфористая медь).

5. Выдержать расплав 2-3 минуты для удаления продуктов раскисления

6. Тщательно перемешивать расплав по всему объему после введения каждой компоненты и раскислителей, а также максимально удалить шлаки перед разливкой.

7. Сплавы золота **ЗлСрМ585-80** и **ЗлСрМ750-150** и другие сплавы данного типа плавят в графитовых тиглях. Сплав золота **ЗлМНЦ750** и другие сплавы данного типа плавят в олуновых тиглях. Сплавы серебра **СрМ** плавят также в графитовых тиглях.

3.10.1. Плавка сплавов золота ЗлСрМ

При проведении плавки в электрической или газовой печи, без использования вакуумной или газовой среды, в первую очередь надо выбрать тигель, соответствующей емкости - расплавленный металл должен заполнить тигель почти доверху.

Возможные варианты загрузки тигля представлены на рисунке 3.31. Первый вариант увеличивает степень окисления расплава, связанную с быстрым ухудшением характеристик графитового тигля (разру-

шение тигля и науглероживание металла). Это ведет к уменьшению прочности металла. Второй вариант позволяет получить металл, с приемлемой степенью окисления.

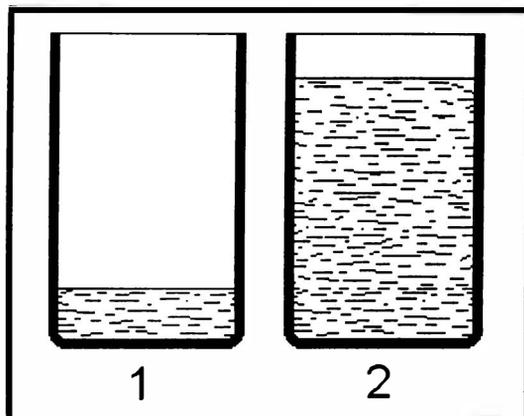


Рис. 3.31. Варианты загрузки тигля.

Перед загрузкой тигель желательно прогреть до температуры 500°С. Эта процедура необходима для удаления влаги, сконденсировавшейся внутри него за время, пока он не использовался. При испарении вода в тигле разлагается на кислород и водород, которые проникают в металл. Это приводит к образованию пор и увеличению его хрупкости.

Тигель загружают по указанному на схеме порядку (рис. 3.32).



Рис. 3.32. Схема загрузки тигля

Сначала надо загрузить чистую бескислородную медь. Бескислородная медь - это химически чистая медь, которая выпускается для литейного производства и не содержит кислорода. Бескислородную медь получают методом вакуумной плавки. В условиях мастерских ее получить невозможно, поэтому ее надо приобретать у фирм-поставщиков ювелирного оборудования.

Чистое золото не окисляется, поэтому его надо загрузить поверх остальных компонентов. Между лигатурой и золотом находится борная кислота, которая служит защитным барьером, как для лигатуры, так и для всего расплавленного металла. Остатки и отходы надо расположить между борной кислотой и чистым золотом.

В процессе плавки, если смотреть внутрь тигля на расплавленный металл, то можно видеть два различных вида расплава, изображенных на рисунке 3.33.

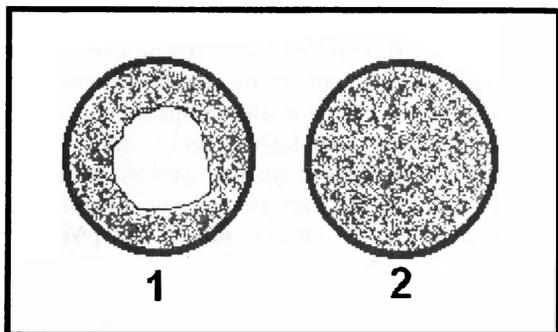


Рис. 3.33. Виды расплава внутри тигля

В первом случае борная кислота не полностью закрывает поверхность расплавленного металла, следовательно, расплав не полностью изолирован от внешней среды. Поэтому, из-за высокой температуры (в данном случае температура является катализатором), расплавленный металл в окисляющей среде вступает в реакцию с кислородом, находящимся в составе воздуха.

Во втором случае на пути кислорода находится защитная преграда - расплавленная борная кислота, которая полностью закрывает поверхность расплавленного металла из-за чего кислород не образует с металлом устойчивых соединений (оксидов). Значит, в первом случае надо добавить еще борную кислоту до полного закрытия поверхности расплава.

На процесс плавления оказывают влияние два фактора: время и температура. Время плавления должно быть как можно меньше, так как чем дольше сплав находится под воздействием высокой температуры, тем больше вероятность окисления. Максимальная же температура литья сплава не должна превышать температуры его плавления более чем на 50-70°C.

Перед литьем расплав обязательно перемешивают графитным или керамическим стержнем для получения однородной структуры сплава (рис. 3.34).

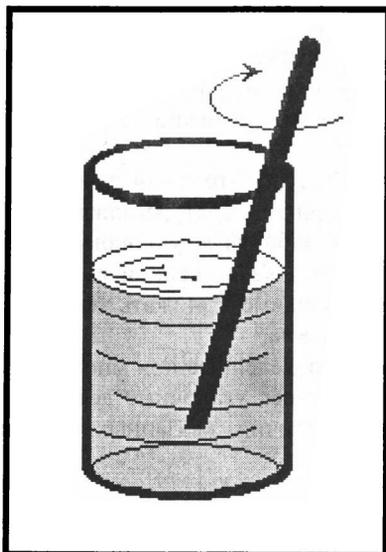


Рис. 3.34. Схема перемешивания расплава

Затем надо удалить борную кислоту с помощью холодного графитового или керамического стержня. Если расплавленная борная кислота очень жидкая (текучая), то для увеличения вязкости в тигель следует дополнительно ввести немного порошка борной кислоты. Это уменьшит температуру расплава и увеличит вязкость, позволяя тем самым легко удалить борную кислоту.

За 2-3 минуты до заливки сплав надо раскислить фосфористой медью - 0,1% или цинком - 0,05% от массы шихты.

Охлаждение после литья должно происходить достаточно быстро. Сплавы золота с медью и серебром при быстром охлаждении приобретают мягкость и пластичность, а при медленном - твердость и хрупкость.

Литейные формы залитые сплавами золота и серебро, охлаждают в воде, а формы залитые сплавом **Зл МНЦ** - в естественных условиях.

Литейные формы залитые сплавами золота 750-ой пробы охлаждают на воздухе до комнатной температуры. После охлаждения отливки выбивают из литейных форм, очищают от формовочной смеси под струей холодной воды.

3.10.2. Плавка опилок сплавов золота

Плавку опилок сплавов проводят обычно в электропечах, используя графитовые или шамотные тигли, в следующем порядке:

1. Очистить опилки от частиц железа с помощью постоянного магнита.

2. Очистить опилки от неметаллических примесей, прогревая их в железной чашке.

3. Составить смесь из 4-х частей соды, 2-х частей поваренной соли и 2-х частей буры.

4. Смешать полученную смесь с опилками в соотношении один к двум (1 часть смеси к 2 частям опилок).

5. Приготовить небольшие таблетки из полученной смеси при помощи пресса. Схема пресса для приготовления таблеток показана на рисунке 3.35. Принцип действия пресса заключается в следующем: ползун-1 ударами молотка двигают по трубке-2, создавая давление между основанием пресса-3 и ползуном, где находится смесь с опилками-4.

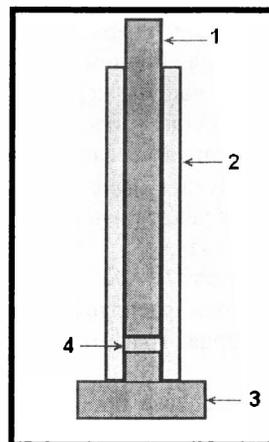


Рис. 3.35. Схема пресса для приготовления таблеток

6. Загрузить в предварительно прогретый до температуры 800°C тигель полученные таблетки и отходы сплавов золота и провести плавку.

7. Перемешивать расплав графитовой палочкой.

Примечание: Длительность и температура плавки не должны быть больше, чем это необходимо.

3.10.3. Плавка сплавов золота открытым пламенем

Плавку сплавов золота открытым пламенем проводят с помощью бензиновых или газовых горелок. На рисунке 3.36 показана схема бензино-воздушной горелки. Она состоит из насоса-1, который приводится в действие ногами. Воздух по трубке-2 подается в бак-3 с бензином (карбюратор). Проходя через карбюратор, воздух насыщается парами бензина, что создает устойчивый факел в пистолете-4. Факел состоит из двух зон: центральной - длинной острой "иглы" с пламенем голубого цвета и температурой 1150°C и периферийной - с температурой $800-900^{\circ}\text{C}$.

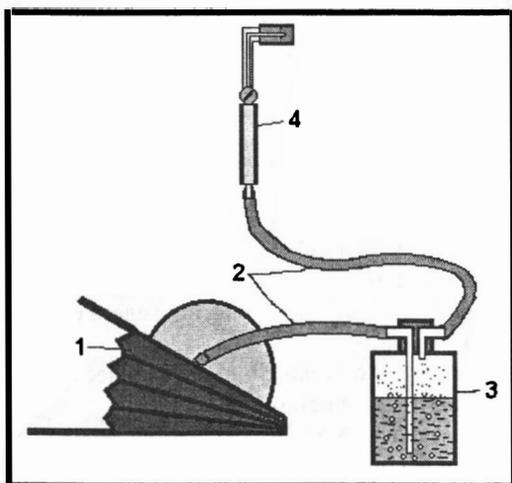


Рис. 3.36. Схема бензино-воздушной горелки

Бензино-воздушные горелки используются для плавки небольшого количества металла (50-80 гр.).

Преимущества такой плавки заключаются в простоте и дешевизне. Металл плавят в небольших плавильных чашах из шамотной глины.

Основные положения правильного проведения процесса плавки сплавов золота ЗлСрМ открытым пламенем:

1. Плавильную чашу перед плавкой прокаливают и глазируют бурой или борной кислотой.

2. В прогретую чашу в первую очередь помещают благородные металлы - золото и серебро.

3. В расплавленный сплав мелкими порциями добавляют медь, и все время вводят борную кислоту или буру, обеспечивая удаление шлаков и оксидов. При этом пламя горелки должно быть мягким, безокислительным и голубого цвета.

4. Перемешивание расплава проводят специальной палочкой из кварца, графита или нержавеющей стали.

5. Раскисление сплава проводят, добавляя цинк (0,05 %), кадмий (0,5 %), или фосфористую медь (0,1%) от массы шихты.

Из-за низкой температуры плавления цинка и кадмия при их добавлении в расплавы они испаряются, что приводит к понижению эффективности их действия. Для предотвращения сгорания этих добавок при внесении в высокотемпературный расплав ЗлСрМ , надо дать остыть сплаву золота до такой степени, чтобы его можно было приподнять за край слитка пинцетом. Приподняв слиток за край, в образовавшуюся между слитком и дном плавильной чаши щель, надо положить цинк (кадмий) и опустить слиток. Вследствие диффузии, цинк (кадмий) проникает в основной сплав.

Для раскисления сплава золота ЗлСрМ можно использовать, например, сплав меди с цинком - латунь. Для этого надо взять латунь определенной марки и ввести в расплав золота ЗлСрМ . Например, латунь марки Л72 на 72 % состоит из меди, на 28 % - из цинка. ЛТ85 - томпак - 85 % меди, 15 % цинка.

Расплавленный в плавильной чаше металл должен иметь температуру разлива, на $50-70^{\circ}\text{C}$ превышающую верхнюю границу его температурной зоны плавления (температура перегрева).

3.10.4. Заполнение литейной формы расплавленным металлом

Заливка - одна из операций изготовления отливок, заключающаяся в заполнении полости литейной формы расплавленным металлом.

При заливке металла в форму возможны следующие случаи.

1. Если расплав при заливке имеет низкую температуру, то он, взаимодействуя с воздухом и с формомассой, охлаждается и теряет жидкотекучесть. При этом отливки не воспроизводят форму, т. е. не заполняются мелкие детали формы (например, зубцы на касте).

2. Если расплав при заливке перегрет (повышенная температура литья), то происходит резкое увеличение пористости и образование усадочных дефектов.

3. Если температура опоки высокая, то металл остывает медленно, что приводит к плохой чистоте отливок, пористости и образованию усадочных дефектов.

4. Если температура опоки слишком низкая, то залитый расплавленный металл будет резко охлаждаться и затвердеет раньше, чем он заполнит мелкие детали модели. Температура опоки должна быть настолько низкая, насколько это возможно для получения качественных отливок.

Отсюда следует, что заливку металла в опоку надо проводить при температуре близкой к температуре ликвидуса и в слабо нагретую опоку (форму). Кроме того, для получения качественной лицевой поверхности отливки необходимо понижать температуру опоки и заливаемого металла.

Анализы, проведенные при многократном литье, показывают, что поры, усадочные дефекты и др. обусловлены рядом причин, связанных с процессом затвердевания сплава.

3.10.5. Процесс затвердевания сплава

Рассмотрим процесс затвердевания сплава. После того как жидкий металл заполнил форму, начи-

нается теплопередача – перераспределение температуры в отливке и форме. В процессе затвердевания отливок, происходит рост кристаллов и другие сложные диффузионные явления в расплавах и кристаллах: и между расплавом и кристаллами (рис. 3.37). При этом сокращается объем и линейные размеры отливок, что вызывает формирование усадочных пустот, а также появление деформаций и напряжений.

Качество отливок зависит исключительно от последовательности затвердевания расплава, которая аналогична процессу замораживания воды. Затвердевание или замораживание начинается от стенок формы и распространяется к центру. Поскольку расплав охлаждается, затвердевание развивается по всей жидкой массе с образованием области затвердевания. Эта область ограничена изотермами ликвидус и солидус, которые в процессе охлаждения отливки последовательно перемещаются от ее поверхности к термическому центру.

При затвердевании сплава, в какой то момент существуют, как правило, три области состояния сплава: область жидкого металла, твердая область и область затвердевания, в которой одновременно существуют жидкий и твердый металл.

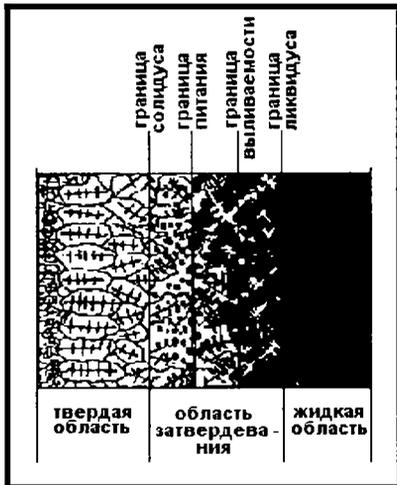


Рис. 3.37. Схема затвердевания отливки

Температурный интервал области затвердевания сплавов золота составляет 30-40 °С. Между границами солидус и выливаемости развиваются области с образованием групп кристаллов, похожих на растущие ели.

Эти группы кристаллов называют «дендритами», что означает по-гречески дерево. Дендриты вырастают против направления потока тепла. Такие дендриты называются «столбчатыми». Если рост дендритов неправилен и беспорядочен, они называются «разноосными».

На рисунки 3.38 схематично показано образования дендритов из маленьких квадратиков на наружной поверхности сплава. Поскольку дендриты растут, они расширяются и формируют мириады микроскопических островков, которые при затвердевании формируют зернистую структуру, которую можно ясно наблюдать в электронный микроскоп. Каждая гранула представляет часть сплава, которая уже затвердела в данном направлении.

На рисунке 3.39 изображены слева разноосные, а справа столбчатые дендриты.

На рисунке 3.40 показан рост дендритов - темная часть показывает рост дендритов, формирующих грануляцию, а заштрихованная область изображает все еще жидкую часть отливки.

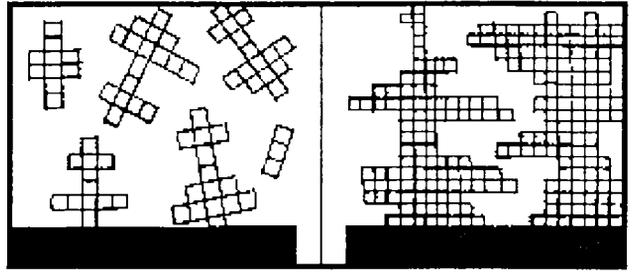


Рис. 3.38. Схема образования дендритов

Ветви дендритов, сталкиваясь и переплетаясь друг с другом, создают каркас сросшихся дендритов внутри двухфазной области расплава, где все еще остается часть не закристаллизовавшегося жидкого сплава. Небольшие включения или примеси вылавливаются дендритами, а пустоты становятся обычными пустотами или пористостью.

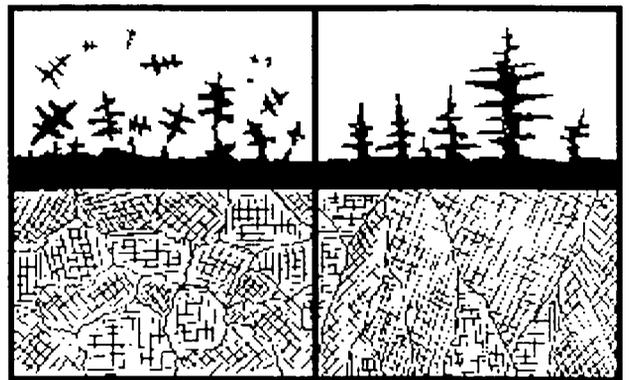


Рис. 3.39. Разноосные (слева) и столбчатые (справа) дендриты

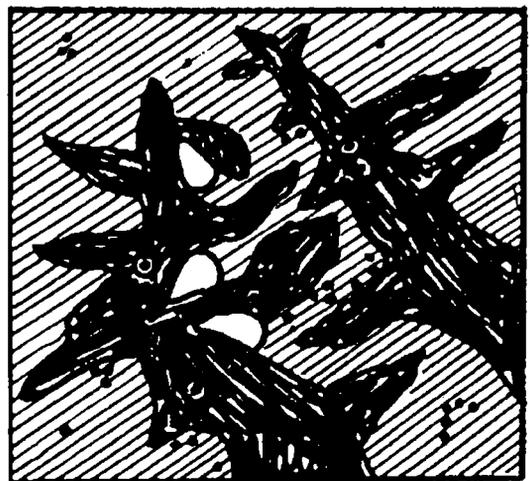


Рис. 3.40. Рост дендритов

Мелкие пузырьки газа, проходя через толщу расплава, встречаются с инородными частицами, которые прилипают к ним. Если примесь все-таки попала в расплав при плавке, то она ухудшает металлургические

характеристики сплава. От этих загрязняющих примесей очень сложно избавиться даже путем нескольких переплавок материала.

Нормальное затвердевание расплава зависит от различных факторов: теплопередачи; примесей при плавке металла; числа центров кристаллизации; типа дендритной кристаллизации (столбчатый или разноосный) и т. д.

Попадания примесей в расплав при плавке можно все-таки избежать, соблюдая все меры предосторожностей. Тогда пористость в основном будет определяться затвердеванием жидкости, остающейся внутри сросшегося каркаса дендритов.

Чтобы избежать образования пористости при затвердевании, всегда необходимо предусмотреть «тепловой резервуар», способный непрерывно обеспечить жидким металлом в течение всего процесса твердения (рис. 3.41). При этом огромное значение имеет отношение размеров сечений соединяемых друг с другом частей литниковой системы.



Рис. 3.41. Литниковая система с резервуаром

На рисунке 3.42 показан один из вариантов создания системы питания отливок.

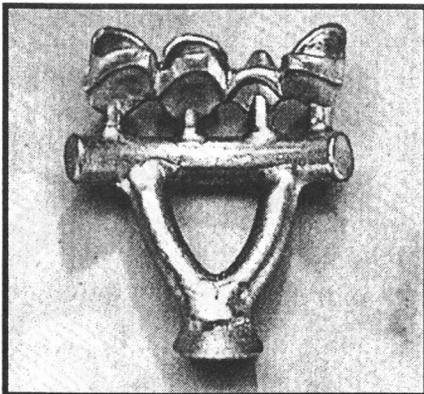


Рис. 3.42. Система питания отливок

Следует заметить, что большинство сплавов расплавляются и затвердевают в некотором интервале температур (S - F), а чистое золото и чистое серебро затвердеют при определенной температуре. На рисунке 3.43 показаны кривые охлаждения сплава золото-серебро различных концентраций.

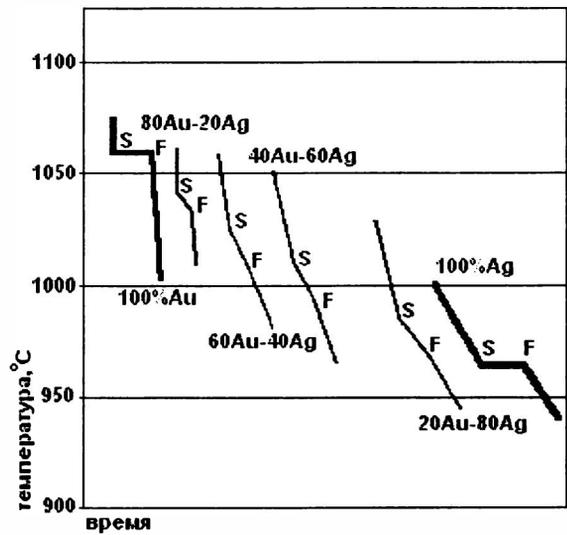


Рис. 3.43. Кривые охлаждения сплавов Au-Ag

3.10.6. Процесс формирования усадочных пустот в отливках

При переходе сплава из жидкого состояния в твердое происходит уменьшение объема сплава - объемная усадка. Причина этого в том, что атомы металла в жидком состоянии более подвижны и имеют большие межатомные расстояния. Когда сплав (металл) затвердевает, его атомы занимают определенные места в узлах кристаллической решетки, то есть, имеют плотноупакованную структуру.

В таблице 3.15 приведены значения объемной усадки металлов и сплавов золота в процентах от начального объема. Объемной усадки не имеют следующие металлы: висмут, олово, галлий и германий.

Объемная усадка при затвердевании

Таблица 3.15

Сплав	Объемная усадка, %
Золото	5,3
Серебро	3,8
Медь	3,9
ЗлСрМ 750-125	4,2
ЗлСрМ 583-80	2,8
ЗлСрМ 583-200	3,4
ЗлСрМ 583-300	3,6
ЗлСрМ 500-100	3,0

Как видно из таблицы, объемную максимальную усадку при затвердевании имеют золото и сплавы золота 750-й пробы, а минимальную - сплавы золота 583-й пробы.

Ниже рассмотрены два случая формирования объемной усадки - первый, когда затвердевание происходит снизу и сбоку и второй - со всех сторон.

1 - й случай (рис. 3.44-1). Металл залит в форму и находится в положении 0. При этом жидкий металл охлаждается и его объем уменьшается от положения 0 до положения 1. Если тепло отводится через стенки формы, то процесс затвердевания движется от стенок к центру и на них образуется корочка толщиной x . Это приводит к уменьшению объема, т. е. понижению

уровня жидкого металла до положения 2. На следующем этапе толщина корки равно $2x$, а уровень металла понижается до положения 3. Таким образом, формируется открытая усадочная раковина.

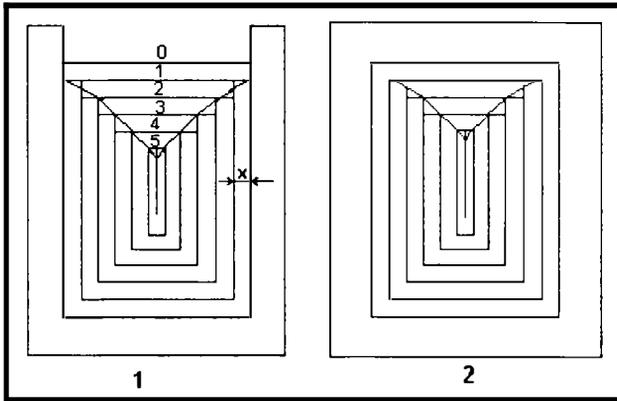


Рис. 3.44. Схема формирования усадочных раковин

2-ой случай (рис. 3.44-2). Отливки охлаждаются со всех сторон. При этом корка образуется на всей его поверхности, затем из-за объемной усадки жидкий металл отходит от корки, образовавшейся на верхней части отливок и начинается процесс затвердевания, которая движется со всех сторон к центру. В этом случае охлаждение сверху замедляется, а процесс формирования раковины такой же, как в первом случае. В конечном счете, образуется пустота - **закрытая усадочная раковина**.

На рисунке 3.45 показаны открытая и закрытая усадочные раковины.

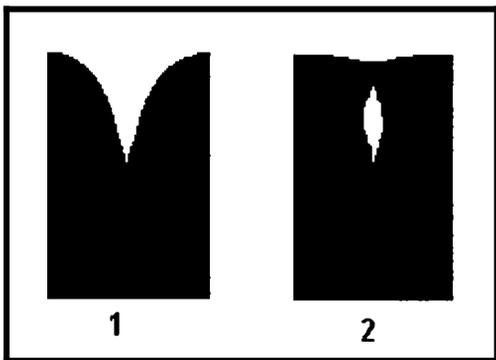


Рис. 3.45. Открытая (1) и закрытая (2) усадочные раковины

По мере остывания кристаллы вырывают атомы из жидкого металла и присоединяют к себе. Атомы в кристаллах имеют более плотную упаковку, чем в расплаве, и занимают меньший объем. Поэтому когда расплава недостаточно, т. е. литниково-питающая система не обеспечивает заполнения полости расплавом, внутри отливок образуются пористости и усадочные раковины (рис. 3.46).

Следовательно, заполнение литейной формы расплавленным металлом должно проводиться при умеренной скорости и низкой температуре, с точным соблюдением технологии на всех стадиях литья: от получения восковых моделей до прокалки опоки и заливки. Жидкий металл должен непрерывно поступать в форму пока не затвердеет расплав.

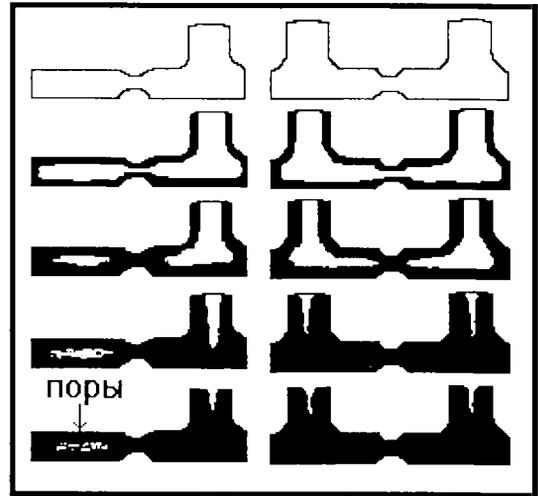


Рис. 3.46. Процесс кристаллизации расплава

В процессе заливки большое значение имеет движение металла в полости формы. Различают три стадии движения расплавленного металла в литниковой системе: свободное падение струи металла, течение по каналам литниковой системы и движение в полости формы.

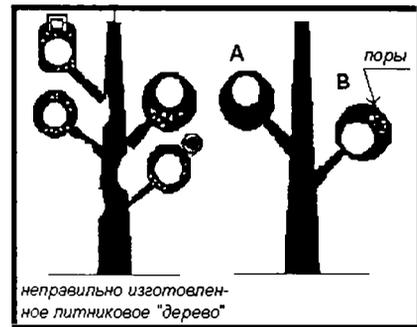


Рис. 3.47. Усадочные пористости

Свободно падающая струя металла в неправильно изготовленной литниковой системе порождает вихревые движения, которые вовлекают частички шлака, окислы, пузырьки газов в полость формы (рис. 3.47). Кроме того, при вихревом движении динамический напор расплава приводит к прорывам тонких слоев формы, отрыву мелких частиц формомассы и вовлечению их в расплав (отливки).

Неправильно изготовленная литниковая система приводит к объемной усадке, появлению нечеткости рельефной поверхности, образованию усадочных раковин и мелких пустот, т. е. к усадочной пористости (рис. 3.47-слева).

Большое влияние на характер затвердевания отливок, а также на их качество оказывают конструкция литниковой системы, способы подвода литников к отливкам, выбор места подвода литника и форма крепления отливок к стояку. На рис. 3.47-справа показаны правильное - А и неправильное - В присоединение отливок к стояку. В случае В литник отливки присоединен к тонкой части отливки.

При выборе места подвода литника к отливке (рис. 3.48) и места крепления к стояку предпочтение отдается варианту, обеспечивающему спокойное за-

полнение формы и препятствующему образованию вихревых движений металла. Нельзя делать резкие переходы в отливке от одного сечения к другому. Это приводит к разбрызгиванию металла и может привести также к различным дефектам. Нельзя направлять поток расплава перпендикулярно к стенке формы. Это может разрушить форму и вызвать такие дефекты как зосор, вздутие и т. д.

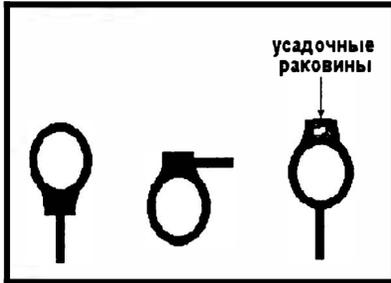


Рис. 3.48. Крепление литников к отливкам

Весь расплав по литникам поступает непосредственно в форму, из-за чего она разогревается около литника. Охлаждение и затвердевание металла в этой области замедляется. Это может послужить причиной усадочных пустот в литниковых зонах отливки.

Литниковая система должна обеспечивать не только качественное заполнение литейной формы, но и компенсировать объемную усадку металла при затвердевании. При конструировании литниковой системы надо предусмотреть, чтобы по мере кристаллизации сохранялось питание отливок жидким металлом.



3.11. Заливка металла в опоку при центробежном литье

Заливку расплава в форму при центробежном литье можно проводить различными способами. Рассмотрим некоторые из них.

Первый способ:

1. Поместить необходимое количество золота и лигатуры в графитовый разливочный тигель по схеме (рис. 3.49).

2. Поместить разливочный тигель в горячую печь и поставить на него тигель литейной центробежной машины.

3. Извлечь щипцами горячую опоку из печи для обжига и поставить на люльку коромысла литейной машины.

4. Извлечь прогнутыми щипцами горячий литейный тигель и поставить на седло коромысла литейной машины.

5. Раскислить сплав фосфористой медью-0,1% или цинком 0,05% от массы шихты

6. Извлечь щипцами горячий разливочный тигель и быстро залить расплав в литейный тигель.

7. Освободить стопор и запустить литейную машину.

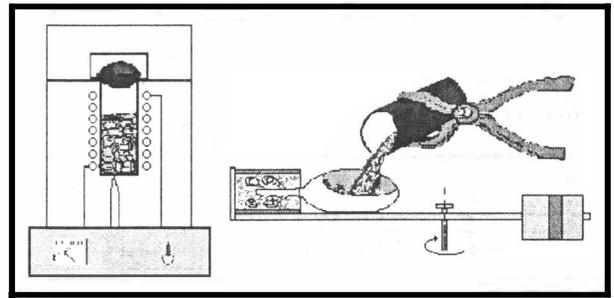


Рис. 3.49. Схема плавильной электропечи и центробежная литейная машина

Второй способ:

1. Поместить необходимое количество золота и лигатуры в тигель литейной машины (рис. 3.50).

2. Расплавить металл в тигле с помощью бензиновой или газовой горелки. Металл плавят все время без остановки, пока он не станет перекапываться («бегать») по тиглю.

3. Извлечь опоку (при температуре 650°C) из муфельной печи и установить на коромысло.

4. Освободить стопор и запустить литейную машину.

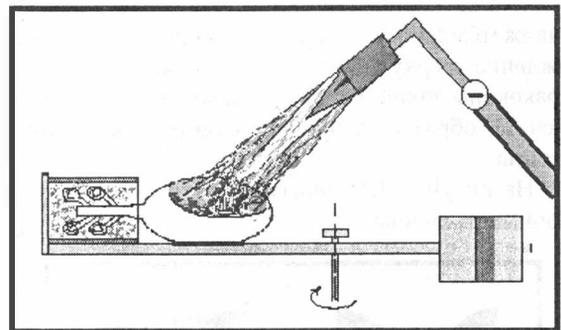


Рис. 3.50. Схема плавки металла открытым пламенем при центробежном литье

Третий способ:

При этом способе процесс заливки такой же, как и в первом, за исключением п.2.

Литейный тигель оставляют на месте (на коромысле литейной машины), нагревая его все время при помощи газовой горелки.



3.12. Заливка металла в форму при вакуумном литье

Заливку расплава в форму при вакуумном литье также можно проводить различными способами.

Первый способ:

1. Загрузить графитовый тигель, предварительно нагретый до 800°C , необходимым количеством золота и лигатуры по схеме (рис. 3.51).

2. Поместить тигель в горячую предварительно нагретую плавильную электропечь (печь электрического сопротивления).

3. Провести плавку при температуре $950-1000^{\circ}\text{C}$.

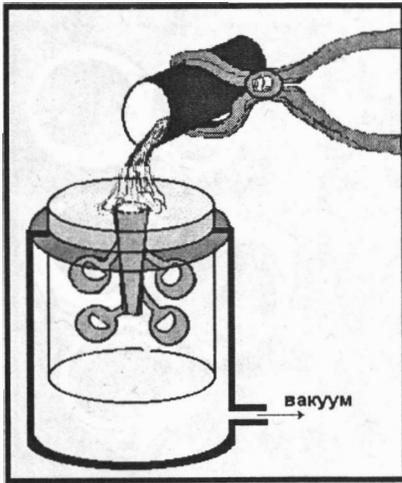


Рис. 3.51. Схема заливки расплава при вакуумном литье

4. Перед заливкой раскислить сплав фосфористой медью-0,1% или цинком 0,05% от массы шихты.

5. Извлечь прокаленную опоку из муфельной печи, установить его в камеру вакуумной литейной машины и включить вакуум.

6. Извлечь тигель из печи с помощью специальных щипцов и быстро залить расплав в форму, одновременно открыв вакуумный затвор (кран).

Второй способ:

При этом способе процесс заливки такой же, как и в первом, за исключением п.1-3.

Плавку проводят открытым пламенем бензиновой горелки на вогнутой поверхности формы, прямо над литниковым отверстием. Диаметр литникового отверстия должен быть 3-4 мм, чтобы расплав не затекал в форму под действием силы тяжести (рис. 3.52).

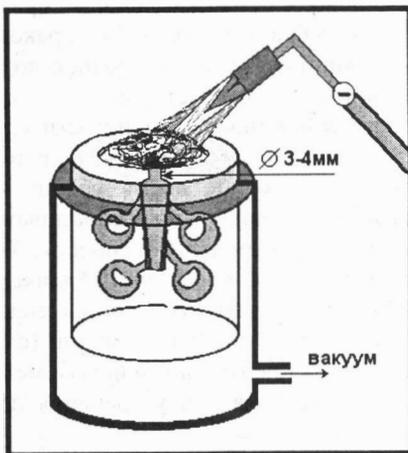


Рис. 3.52. Схема плавки и заливки расплава при вакуумном литье

При этом температуру заливки определяют на глаз. Ни в коем случае нельзя перегревать металл, т. е. заливку проводят тогда, когда металл явно превратился в жидкость с зеркальной поверхностью. Расплав заливают в форму, открыв вакуумный затвор (кран).



3.13. Охлаждение опоки с отливками

После того как металл залит в опоку, надо ее выдержать несколько минут, пока идет процесс кристаллизации. Время охлаждения опоки на воздухе приблизительное. Например, платину надо охлаждать на воздухе примерно в течение 10 минут, а затем в воде; желтое золото 585-й пробы – на воздухе до тех пор, пока не исчезнет краснота литниковой чаши, а затем в воде. Белое золото 585-й пробы, изготовленное из никелевой лигатуры, надо охлаждать на воздухе в течение 15-20 минут, а затем в теплой воде (60°C) или в растворе, состоящем из вода + 50% спирта. Металл в этом случае должен иметь температуру не менее $650-700^{\circ}\text{C}$. Наивысшая пластичность достигается при охлаждении в масле.

Отливки из золото 750 –й пробы охлаждаются на воздухе до комнатной температуры. При нормальном охлаждении процесс кристаллизации происходит надлежащим образом и, следовательно, полученные отливки будут пластичными и легко обрабатываемыми.



3.14. Очистка от формомассы и удаление литников

Очистку отливок можно проводить щеткой под струей холодной воды (рис. 3.53). Сильно приставшую формомассу можно отковыривать пинцетом или другими приспособлениями. Очистку изделий от формомассы проводят в ультразвуковой ванне с частотой колебаний 50-80кГц. Звуковые волны ускоряют действие раствора на изделия, и оказывают встряхивающее и промывающее действия, удаляя при этом остатки формомассы с отливок.

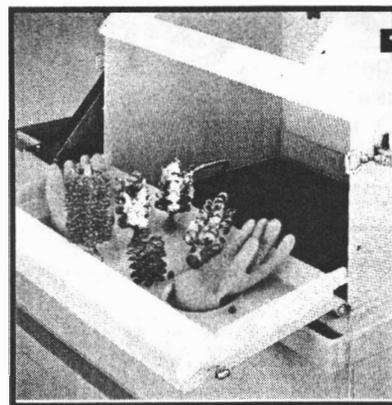


Рис. 3.53. Установка для очистки отливок

Внимание! При включенном ультразвуке нельзя опускать руки в ванну с раствором!

Для очистки и травления изделий можно также использовать концентрированный 70% раствор плавиковой кислоты или раствор трилона Б.

Внимание! Плавиковая кислота – это очень опасно!!!

Для работы с этой кислотой надо иметь вытяжку. Пары ее опасны при вдыхании. Кроме того, эта кислота очень агрессивно поражает тело, образуя язвы. Пласти-

ковую кислоту хранят в специальных пластмассовых контейнерах.

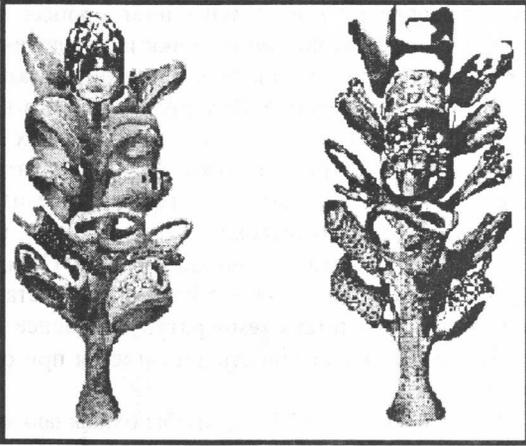


Рис. 3.54. Очищенные отливки

После предварительной очистки отливки надо отделить от литникового стояка. Это можно сделать с помощью электрического станка для резки литников с педальным управлением (рис. 3.55). Если нет такого станка, литники можно отрезать с помощью ювелирной пилы или кусачек. Оставшийся металл на отливках после отрезки литника можно удалить напильником или на полировальной установке сначала наждачным кругом, а затем мягким резиновым кругом.

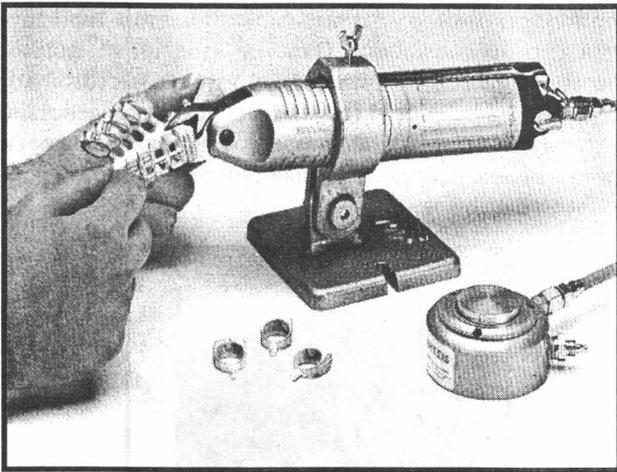
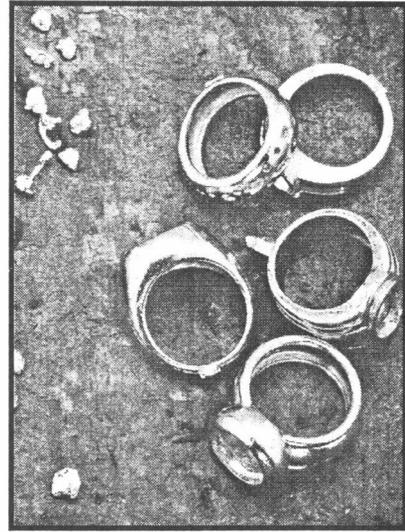


Рис. 3.55. Станок для резки отливок



3.15. Дефекты литья и способы их устранения

Вакуумное и центробежное литье по выплавляемым моделям, при соблюдении технологии на всех стадиях изготовления отливок, позволяют получать качественные изделия, максимально приближенные к оригиналу по форме и размеру, с гладкой поверхностью и с минимальным припуском.



При нарушении же технологии литья могут возникнуть различные дефекты в некоторых отливках. Ниже приведены виды дефектов, возможные при литье сплавов драгоценных металлов.

1. **Недолив** - отсутствие части или детали отливки.
2. **Пригар** - наплавы неправильной формы с шероховатой поверхностью.
3. **Трещины** - щели или углубления в теле отливки.
4. **Корольки** - сферические выступы на поверхности отливки.
5. **Неслитины** - не сплошность, не монолитность детали, слоистость детали.
6. **Облой** - плоский ободок неправильной формы вокруг отливки.
7. **Пористость** - лунки, раковины, скопления пор и рыхлость.

Установлено, что основным видом брака при литье из золота и серебра являются поры и раковины. Эти дефекты в основном связаны с усадочной пористостью и газосодержанием жидкого металла.

Основными причинами пористости служат: неправильное присоединение литников; неполное выжигание воска; недостаточное время обжига; слишком быстрое нагревание опоки при вытапливании воска (кипящий воск и пар в модельной полости будут расшатывать частицы формомассы при отливке, что приводит к включениям); негодный состав сплава, чрезмерное использование отходов и опилок (следует использовать не более 50% отходов с новым металлом).

Основные указания для устранения пористости следующие:

1. Используйте, по возможности, низкую температуру литья.
2. Если полости формы не заполняются, попытайтесь поднять температуру опоки, а не литья.
3. Увеличивайте скорость вращения центробежной литейной установки.
4. Проверьте наличие воздушных карманов в восковой модели.

Различные виды дефектов, возможных при литье по выплавляемым моделям, и способы их устранения приведены в таблице 3.16.

Вид дефекта	Причины проявления	Способы устранения
Пористость отливок	Неправильная литниково - питающая система. Недостаточное питание отливка. Слишком высокая температура опоки при литье. Перегрев расплава. Избыток «старого» металла в расплаве.	Разработка литниково - питающей системы, обеспечивающей заполнения расплавом полости форм. Заливка металла при температуре близкой к температуре ликвидуса в слабо нагретую опоку. Не более 50% «старого» металла.
Облой отливок	Неправильное соотношение воды и порошка. Форму поместили в печь слишком рано после схватывания. Форма нагрета слишком быстро. Форму отожгли, охладили и опять нагрели.	Время выдержки опоки с формомаслой вне печи минимум 1 час. Проводить обжиг формы по рекомендуемым циклам отжига.
Плохая чистота поверхности отливок	Неправильное соотношение воды и порошка. Форму поместили в печь слишком рано после схватывания. Металл перегрет. Слишком горячая форма. Обжиг формы проводился при температуре выше 750°С. Удаление воска проводилось при слишком высокой температуре. Избыток «старого» металла.	Взвесить точные пропорции воды и порошка. Проводить обжиг формы по рекомендуемой технологии на всех стадиях. Не более 50% «старого» металла.
Засорение формовочным материалом	Острые углы и повороты литниковой системы. Форма нагрета слишком быстро. Недостаточное время обжига в печи. Избыточный износ графитового тигля или недостаток флюса.	Правильно провести нагрев формы. Графитовые тигли рассчитаны на не более 20-ти плавов на воздухе. Правильно собрать восковую елку. Следить за чистотой тигля и шихтовых материалов.
Незаполнение или незавершенность отливки	Температура металла слишком низкая. В форму залито недостаточно металла. Не весь воск удален. Форма переохлаждена к моменту разлива. Неудачная литниковая система (литники слишком длинные или имеют слишком тонкие каналы, или их не хватает).	Поднять выше температуру расплава. Правильно рассчитать шихту. Правильно нагреть форму. Укоротить литники восковок.
Воздушные пузырьки	Вакуумная система плохо работает. Опока не подвергнута вибрации или вакуумированию.	Проверьте масло в вакуумном насосе. Убедитесь в том, что закончили работу до начала схватывания. Оптимальное время схватывания должно находиться в пределах 9 - 10 минут.

Глава 4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ И ОТДЕЛКА ОТЛИВОК

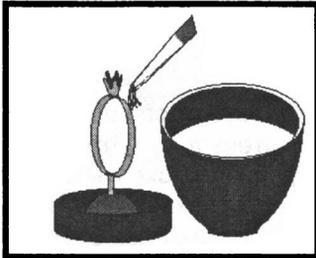
4.1. Литье из сплавов золота и серебра в условиях мастерских

Технология простейшего литья, без использования специального оборудования, когда мастер ювелир хочет изготовить единичные изделия — довольно сложная задача. Ее решение зависит от знания соответствующих параметров литья и практических навыков литейщика. Ниже вкратце приводятся основные положения литья из сплавов золота и серебра.

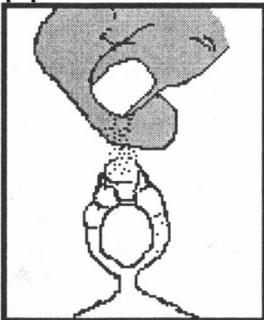
1. Восковые модели в этом случае изготавливаются мастером из модельного воска вручную путем лепки. Или надо иметь готовую модель, из которой необходимо получить отливку.



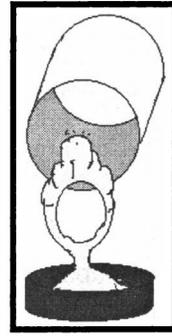
2. Формовку модели или нескольких моделей, проводят в опоках с использованием формомасс методами, описанными в главе 2. Формомасса должна плотно прилегать к модели. С этой целью готовую модель обезжиривают, погружая ее в спирт.



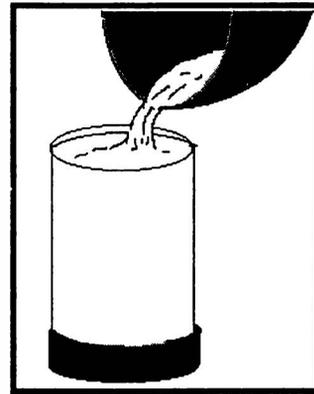
3. Из-за невозможности виброввакуумирования, суспензию формовочной массы необходимо нанести на поверхность восковых моделей при помощи мягкой кисточки. При этом на ней не должны появляться пузырьки воздуха. Первый слой припудривается, чтобы препятствовать обезживанию и образованию трещин при высыхании формы.



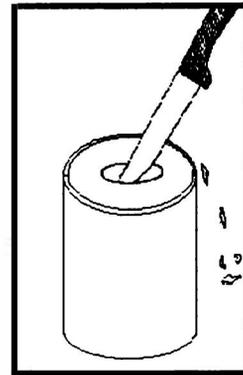
4. Через 2-3 минуты наносят еще один слой формомассы. Это повторяется до тех пор, пока восковая модель не покроется слоем толщиной около 5-6 мм.



5. Затем в опоку, с закрепленной моделью, заливают, вибрируя при этом вручную, суспензию формовочной массы до верхнего среза опоки.



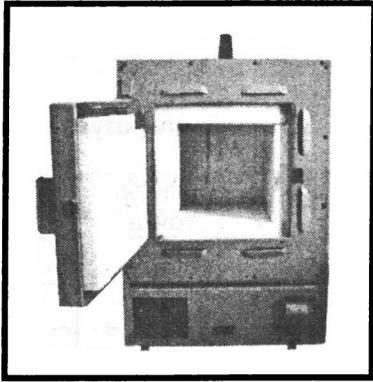
6. После этого дают опоке подсохнуть в течение одного часа. Затем с нее снимают резиновый уплотнитель и обрабатывают вручную вогнутую поверхность формы.



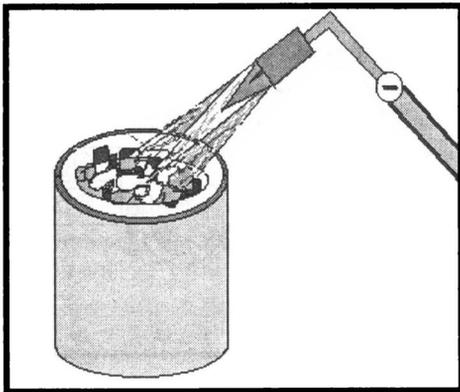
7. Для вытапливания воска из опоки, ее ставят вверх дном на решеточную подставку, находящуюся в кастрюле с кипящей водой. Закрыв кастрюлю крышкой, дают выплавляемому воску стечь в воду. При этом опока не должна касаться воды. Небольшие опоки можно нагревать на газовой плите, установив режим малого огня. Модельный состав можно также вытапливать в муфельной печи, предварительно прогрев его до 150°C.

8. Литейную форму обычно прокаливают в муфельной печи. Если опоки маленькие, то их можно прокаливать, нагревая с помощью бензиновой или га-

зовой горелки до тех пор, пока цвет опоки не станет вишнево-красным. Обжиг считается законченным, если огнеупорная смесь вокруг литникового отверстия станет белой как мел, и из литникового отверстия не будет исходить пламя.



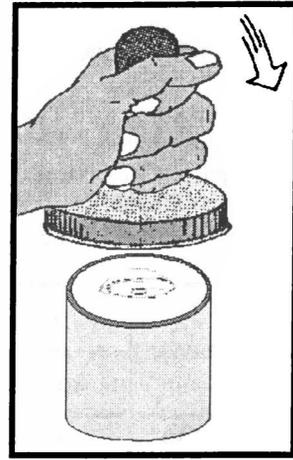
9. Металл плавится с помощью газовой горелки, на вогнутой поверхности торца литейной формы. За счет поверхностного натяжения и из-за малости размеров литникового отверстия (около 3-4 мм) жидкий металл не затекает в форму. Принудительная заливка металла в опоку производится с помощью ручного центробежного устройства, описанного в главе 3, или за счет внешнего давления водяного пара.



Принудительная заливка опок позволяет снизить температуру расплава и формы. Внешнее давление создается при помощи металлической крышки, которую прижимаем силой на торец опоки. Внутри крышки находится влажный асбест, или мокрая тряпка, или бинт и т. д.



После того как металл расплавится, убирают горелку и резко прижимают металлическую крышку на форму.



4.2. Плавка и литье благородного белого золота

При литье из благородного сплава белого золота из-за его высокой температуры плавления требуется специальная технология, специальная формомасса и быстродействующая литейная машина. Сплавы белого золота можно плавить в дуговых электрических печах, в газовых печах, а также в высокочастотных индукционных печах.

В мастерских для плавки белого золота используют ацетиленовые или газовые горелки. При этом необходимо правильно отрегулировать пламя, т.е. правильно подобрать соотношение компонентов газовой смеси.

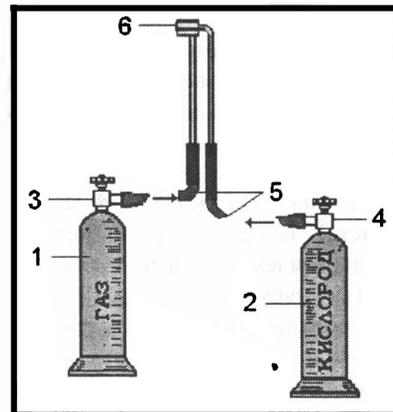


Рис. 4.4. Схема газовой горелки

Известно, что палладий при высоких температурах взаимодействует с газообразными продуктами сгорания, что приводит к появлению различного вида дефектов. Поэтому при плавке сплавов, содержащих палладий, пламя должно быть мягким, чтобы расплавленный палладий не поглощал газы из воздуха. В таблице 4.1 приведены составы сплавов благородного белого золота, применяемые для изготовления ювелирных украшений.

Добавка нескольких десятых процентов цинка в сплав белого золота перед заливкой оказывает раскисляющее действие и повышает жидкотекучесть сплава. При введении цинка в сплав белого золота, из-за низкой температуры плавления цинка он испаряется и уле-

тучивается. Введение цинка в сплав при плавке благородного белого золота надо провести в следующем порядке.

1. Сначала сплавляют золото с палладием.
2. Затем добавляют серебро.
3. После этого расплав охлаждают в тигле до затвердевания.

4. Затем приподнимают горячий королек и под него подкладывают кусочки цинка. Цинк расплавляется и соединяется с частицами сплава.
5. Сплав опять нагревают до температуры высшей точки плавления и производят заливку.

Составы сплавов благородного белого золота

Таблица 4.1

Марка сплава	Компоненты, %					Температура плавления, °C	
	Au	Ag	Cu	Pd	Ni	Нижняя точка	Верхняя точка
ЗлСрПдН750-90-140	75,0	9,0	-	14,0	2,0	-	-
ЗлСрПдН750-70-140	75,0	7,0	-	14,0	4,0	-	-
ЗлСрПд583-30	58,3	25,7	25,7	16,0	-	-	-
ЗлСрПд583-237-180	58,3	23,7	-	18,0	-	-	-
ЗлСрПд750-50-200	75,0	5,0	-	20,0	-	999	1003
ЗлСрПт750-80-90	75,0	8,0	8,0	-	9,0	-	-
ЗлСрПд430-415-155	43,0	41,5	-	15,5	-	705	804

Плавку белого золота проводят с добавлением небольшого количества борной кислоты. При плавке сплавов платиновой группы нельзя пользоваться тиглями, содержащими окись алюминия, а также графитовыми тиглями.

Для литья благородного белого золота используется формомасса **Голд Стар Ультима**. Ее можно использовать для металлов, температура плавления которых не превышает 1300 °C.

Приготовление и замес формомассы для литья белого золота делается так же, как и для красного золота. Для этого необходимо налить воду в резиновый сосуд, затем постепенно добавлять формомассу и тщательно перемешивать смесь вручную или механически до тех пор, пока она не станет однородной. Пропорции замеса: 38 частей воды на 100 частей формомассы. Правильно приготовленная смесь должна иметь консистенцию густых сливок.

Вакуумирование и заполнение опоки выполняется так же, как и для красного золота (см. 2.4.4).

Опоки под литье из белого золота надо подбирать более узкие, так как белое золото быстро охлаждается из-за высокой температуры плавления.

После формовки, опоки надо оставлять сохнуть в течение одного часа.

Рекомендуемый цикл отжига формомассы **Голд Стар Ультима** представлен на графике (рис. 4.1).

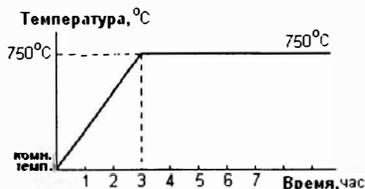


Рис. 4.1. График цикла отжига формомассы **Голд Стар Ультима**

Из-за высокой температуры плавления при заливке благородного белого золота используются быстродействующие центробежно-вакуумные литейные установки. Принципиальная схема такой установки представлена на рис. 4.2.

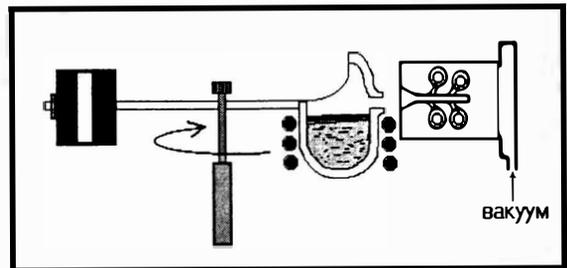


Рис. 4.2. Схема центробежно-вакуумной литейной установки

Для литья из белого золота можно применять устройство вакуум - внешнее давление. Такое устройство можно собрать самому (рис. 4.3).

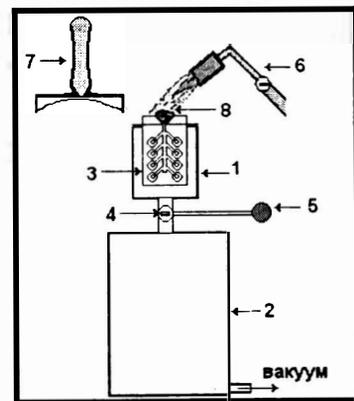


Рис. 4.3. Схема устройства вакуум - внешнего давления

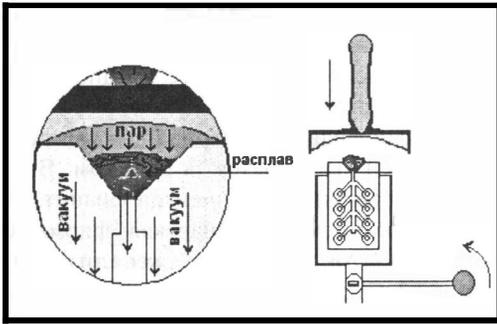


Рис. 4.4. Схема заливочного узла устройства вакуум - внешнее давление

Оно состоит: из рабочей камеры -1 и камеры предварительного разряжения -2, опоки с резиновой прокладкой -3, заслонки -4 с ручкой -5, горелки -6 и крышки с влажным асбестовым листом -7.

Принцип действия устройства следующий. В камере предварительного разряжения еще до установки опоки с помощью вакуумного насоса откачивают воздух. Затем, устанавливая прокаленную опоку в камеру -1. Сплав белого золота кладем на вогнутую часть формы -8 и проводим плавку с помощью газовой или бензиновой горелки.

Чтобы жидкий металл не затекал в форму при атмосферном давлении в камере -1, размер литникового отверстия должен быть около 3-4 мм. Когда металл полностью расплавится и при круговом движении горелки -6 начнет перемешаться по вогнутой части формы, открывают заслонку 4 и одновременно прижимают силой крышку -7 с влажным асбестом. При этом давление в рабочей камере становится намного меньше атмосферного и, кроме того пар, образуемый между плотно закрытой крышкой -7 и вогнутой частью формы, с большой силой давит на поверхность жидкого металла, заставляя его тем самым заполнять литейную форму (рис. 4.4).



4.3. Литье с камнями

В последние годы литье ювелирных изделий с камнями, закрепленными в восковую модель, становится все более популярным. Этот метод выгоден тем, что позволяет закреплять камни в восковую модель намного быстрее, чем в металл. Сама закрепка получается очень надежной и прочной, так как металл затекает вокруг камня и обжимает его. Из-за простоты и легкости закрепки камней в восковую модель производство готовых изделий резко увеличивается.

Рекомендуется крепить в восковки небольшие по размеру камни, так как большие камни при заливке металла могут дать трещину или изменить цвет. Если у камня тонкий рундист, то горячий металл при остывании после заливки может его сломать.

4.3.1. Ювелирные камни

Ювелирные камни по ценности делятся на три группы: А - самоцветы, В - цветные камни, С - органические камни.

В порядке понижения ценности ювелирные камни, каждой группы делятся на классы и подклассы.

Группа А:

1 класс - алмаз, рубин, сапфир, изумруд, александрит, благородная шпинель и эвклаз.

2 класс - топаз, аквамарин, берилл, красный турмалин, аметист, альмандин, циркон.

3 класс - гранат, бирюза, зеленый турмалин, горный хрусталь, сердолик и хризопраз.

Группа В:

1 класс - нефрит, лазурит, малахит, кварц, агат, авантюрин, яшма, орлец и кварцит.

2 класс - обсидиан, оникс, сланцы и др.

Группа С - жемчуг, коралл, янтарь и гагат.

Оценку ювелирных камней проводят по ряду качеств: твердость, прозрачность, плотность, прочность, цвет, блеск, химическая стойкость, огранка камня.

Твердость – это способность камня сопротивляться царапанию.

Прозрачность – это способность минерала пропускать свет.

Плотность – это масса минерала в единице объема.

Прочность – это наличие в камнях трещин, инородных включений, пузырьков и т. д.

Цвет – это окраска самоцвета.

Блеск – это внешний вид минерала в отраженном свете.

Химическая стойкость – это способность сопротивляться действию кислот и щелочей, а также выдерживать высокую температуру.

Огранка - это процесс шлифования камня плоскостями различных форм.

Изменения природной формы камня - огранка представляет собой выпуклый многогранник, грани которого могут быть различной формы и размера.

Многие виды драгоценных камней в природе имеют блестящие сверкающие грани, с поверхностной игрой света. В древности люди почти не пытались придавать камням форму, и все сводилось к шлифовке и полировке граней. Природная форма не раскрывает полностью оптические свойства, которые придают камню игру света, красоту и очарование.

4.3.2. Типы и формы огранки камней

Существуют семь основных типов огранки: бриллиантовая, ступенчатая, смешанная, роза, кабошон, клинья, таблитчатая.

По форме огранки камня бывают: круглые, овальные, маркизы, каре, прямоугольники, груши, капли и ромбы (рис. 4.5-4.9).

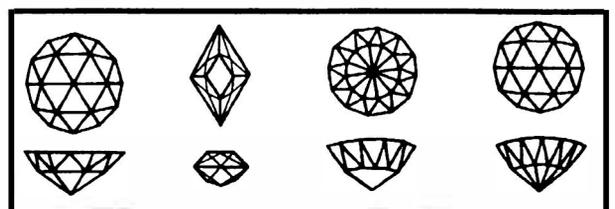


Рис. 4.5. Камни различных форм и огранок

Закрепка синтетических ювелирных камней в восковую модель надежна, не изменяет цвет камней при литье и не дает трещин. Поэтому в основном для литья ювелирных изделий с камнями используются синтетические камни, имеющие природные аналоги: рубин, сапфир, шпинель, александрит, изумруд, фианит и др.

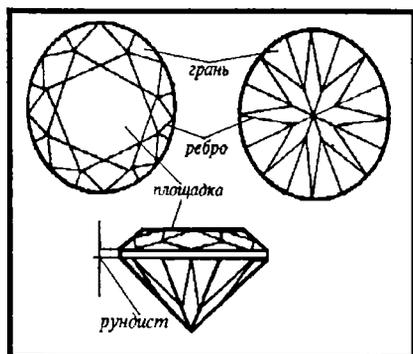


Рис. 4.6. Элементы граненого камня

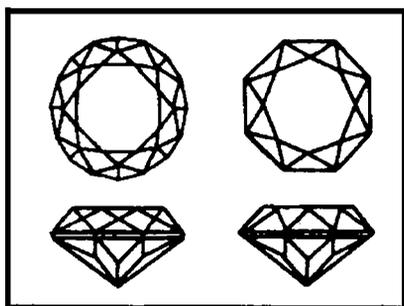


Рис. 4.7. Камни круглой формы - огранка «бриллиантовая»

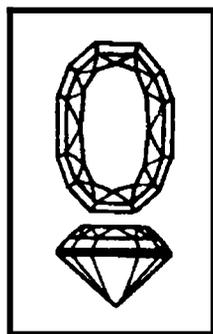


Рис. 4.8. Камни овальной формы - огранка «бриллиантовая»

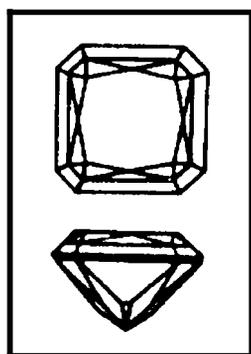


Рис. 4.9. Камни квадратной формы - огранка «бриллиантовая»

Закрепка фианитов в восковые модели и отливка ювелирных изделий получили всеобщее признание. Этот способ литья является более предпочтительным, по сравнению с другими.

Подобный фианиту материал для имитации драгоценных камней выпускается за рубежом. В Австрии выпускается по российской лицензии фианит, который называют цирконием. Швейцарская фирма «Гранд Лдевахирджан СА» производит джевалит. В таблице 4.2 приведены основные свойства синтетических камней.

Чтобы легче было закреплять камни в восковую модель, надо подготовить мастер-модели. Для этого при помощи круглого или конусного бора конструируются фасетки и зубцы по вставляемому камню, так чтобы они близко соответствовали форме камня. При изготовлении посадочных мест для камней на мастер-модели надо учесть усадку резины. Зубцы можно аккуратно согнуть по закрепляемому камню, так чтобы они плавно ложились на него.

Основные свойства синтетических камней

Таблица 4.2

Название	Сингония	Твердость по Моосу	Плотность, г/см ³
Алмаз	Кубическая	10	3,52
Корунд	Тригональная	9	3,99 - 4,01
Гранат	Кубическая	6,5	4,57 - 7,09
Шпинель	Кубическая	8	3,63
Изумруд	Гексагональная	7,5 - 8	2,64 - 2,69
Кварц	Тригональная	7	2,65
Фианит	Кубическая	7,5 - 8	6 - 10

4.3.3. Крапановая закрепка камней в восковую модель

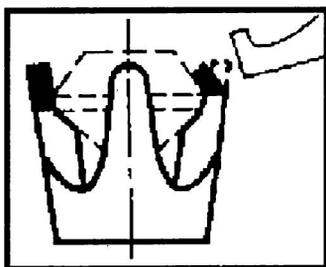
Закрепление камней в восковой модели проводится в следующей последовательности.

1. Подготавливается посадочное место в касте мастер-модели. Для этого с помощью штихеля или бормашины на внутренней стороне крапановой мастер-модели вырезаем посадочное гнездо. Периодически примеряя вставку, доводим посадочное место до размера вставки.



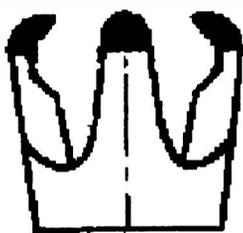
2. Камни для закрепки в мастер-модели выбираем из дешевого стекла или синтетики (как образец), размеры которого совпадают с размерами будущих

вставок или чуть больше. Установив вставку - образец в посадочное место мастер-модели с помощью давчика, обжимаем крапана плотно по поверхности вставки.



3. Мастер-модель с закрепленным камнем (вставкой) нагревают до красноты (600-700°C) и резко опускают в воду. При этом камень трескается и ломается. Если же камень не поломался, и держится на касте, то его ломают легкими ударами молотка и удаляют.

4. Затем с этой мастер-модели снимают резиновую пресс-форму. Восковая модель, полученная от этой формы, имеет касты с готовыми посадочными местами для вставок и загнутыми по форме камня крапанами.

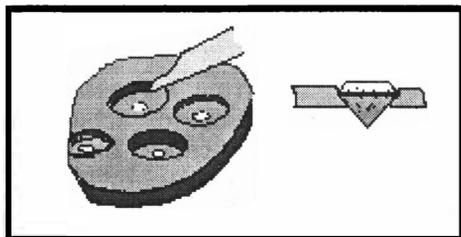


5. В полученные восковые модели легко закреплять камни, установив их, слегка придавливая пинцетом. Для закрепки камня в восковую модель зубцы можно аккуратно отогнуть. За счет упругости воска камень легко вставляется на свое место в восковой модели.

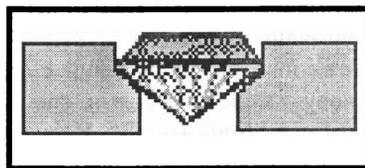
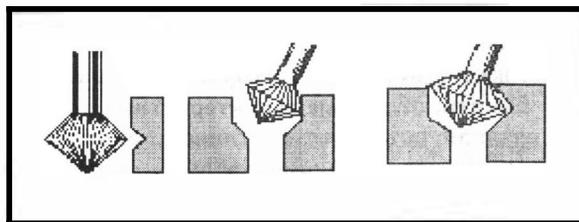
4.3.4. Корнеровая закрепка камней в восковую модель

При серийном производстве ювелирных изделий методом литья по выплавляемым моделям наиболее часто применяется корнеровая закрепка камней в восковые модели. Этот способ закрепки незаменим при закреплении прозрачных вставок в многокаменных изделиях. Корнеровая закрепка проводится в следующей последовательности.

1. Сначала с помощью бормашины и сверл сверлят отверстия под камни.

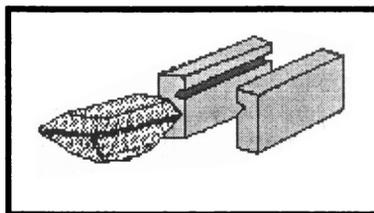
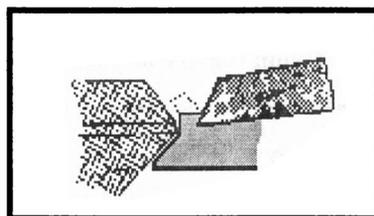


2. Штихелем или с помощью конусных боров, имеющих форму камня, готовят посадочные места.



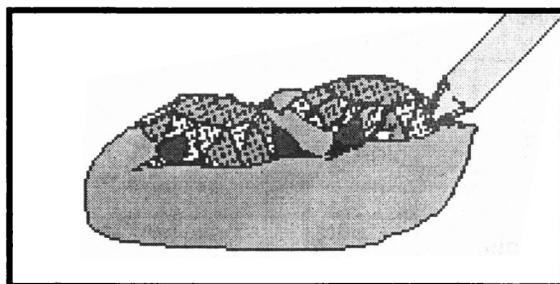
3. С помощью лобзика придают отверстиям снизу квадратную форму. Или же бором увеличивают отверстие снизу.

4. Затем с помощью боллштихеля срезают слой металла в сторону камня, поднимая корнера (в виде мелких стружек), и с помощью корневертки укрепляют их, т. е. придают слегка шарообразный вид. При этом корнера доводят до камня.



5. Закрепление камня проводят на восковых моделях, после того как получают резиновую пресс-форму и с нее восковые модели.

6. Камень с помощью пинцета устанавливают на гнездо восковой модели, где уже стоят корнера. Затем с помощью автономного мини паяльника, слегка касаясь воскового корнера и быстро убирают. При этом наконечник паяльника слегка расплавляет корнера на восковой модели, и они ложатся на края камня в виде мелких шариков, и закрепляют их.



7. После того, как изделие с камнями отлиты, нельзя подправлять закрепленные корневерткой корнера, так как камни при остывании металла находятся в сжатом состоянии и потому могут потрескаться.

Для заделки камней в восковые модели необходимо выбрать воск со следующими качествами и характеристиками: небольшая усадка; хорошая гибкость и память; отличные характеристики по текучести; гладкая поверхность отливок; плотное соприкосновение со стенками формы; достаточно полное выгорание.

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяет инъекционный воск **KERR PEARLS**, номер 28163, цвет розовый турмалин или номер 16181.

Для литья ювелирных изделий с уже закрепленными в восковую модель камнями, специально разработана формомасса **Stonecast** (SPS Великобритания). В ее состав входят специальные добавки, предохраняющие камни от воздействия температуры во время цикла отжига. Использование формомассы **Stonecast** позволяет поднять температуру отжига до 630°C без разрушения камней. С другими формомассами без специальных добавок, температура отжига может быть поднята только до 500°C. Рекомендуемое соотношение для приготовления смеси порошок / вода - 100/38.

При температуре отжига 630°C поверхность изделий и вокруг камней получается более чистой и гладкой. Тем самым облегчается их последующая до-

водка и полировка. Отжиг опоки и удаление воска проводится в соответствии с графиком (рис. 4.8). Температура литья 560-610°C.

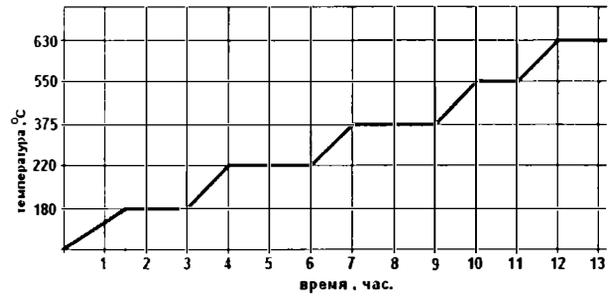


Рис. 4.8. График цикла отжига формомассы **Stonecast**

Следует заметить, что если отливки с камнями, надо стараться меньше деформировать изделие при доводке, так как при этом камни могут потрескаться. Отлитую форму нельзя принудительно охлаждать, а надо ждать пока она медленно не остынет до температуры окружающей среды. В таблице 4.3 приводятся основные свойства ювелирных камней и их поведение в кислотах и при нагревании.

Свойства ювелирных камней и их поведение в кислотах и при нагревании

Таблица 4.3

Камень	Твердость по Моосу	Плотность, г/см ³	Цвет	Поведение в кислотах	Поведение при нагревании
Алмаз	10	3,5	Все цвета	Не чувствителен	Цвет не меняется
Рубин	9	4,08	Ярко-красный, темно-красный	-----	Зеленеет, после охлаждения принимает свой цвет.
Сапфир	9	4,06	Синий, зеленый, розовый, желтый, оранжевый, пурпурный	-----	В огне бледнеет (требуется осторожность)
Изумруд	7,75	2,67	Зеленный	Не чувствителен, разрушается от действия щелочей	Нагрев не рекомендуется.
Александрит	8,5	3,6-3,7	Меняет окраску: при дневном свете густо-зеленный, при искусственном — малиново-красный	Не чувствителен	Требуется осторожность
Шпинель	8	3,6	Голубой, розовый, красный, пурпурный	-----	Не меняется
Топаз	8	3,5-3,6	Голубой, розовый, красный, желтый, оранжевый	Соприкосновение нежелательно	При нагревании становится коричневым, после охлаждения принимает прежний вид
Турмалин	7-7,5	2,9-3,3	Изумрудно - зеленый, зелено-	Не чувствителен	Теряет цвет

			вата - голубой, оранжево - красный		
Аметист	7	2,65	Интенсивно фиолетовый	Чувствителен	-----"-----"-----
Гранат	7-7,5	4,1-4,8	Темно-красный, коричневый, зеленый	-----"-----"-----	Не рекомендуется
Нефрит	5,7-5,8	3	Светло-зеленный	-----"-----"-----	Требуется осторожность
Опал	5-6,5	1,9-2,3	Белый, черный, огненный	Разрушается	Теряет свои качества
Кварц	6,5	2,6	Розовый	Растворяется	Трескается
Коралл	3-4	2,5	Белый, розовый	-----"-----"-----	Нагрев не рекомендуется
Жемчуг	2,65-2,7	2,5-3,5	Белый, розовый	-----"-----"-----	-----"-----"-----



4. 4. Копирование ювелирных изделий

Копировать понравившиеся мастеру-ювелиру старинные ювелирные изделия или изделия из розничной торговли, можно провести, имея следующие инструменты и оборудования:

1. Копируемое ювелирное изделие.
2. Гальваническую ванну.
3. Электролит.
4. Выпрямитель постоянного тока или аккумулятор.

Копируемое ювелирное изделие - это законченное хорошо отполированное и с закрепленными камнями ювелирное изделие. Толщина металла и толщина зубцов, где крепятся камни, не позволяют мастеру-литейщику копировать непосредственно с данного изделия, так как при изготовлении резиновой пресс-формы и при отливке получится усадка порядка 0,2%. Поэтому ювелирное изделие перед копированием необходимо наращивать, т. е. покрыть его медью, серебром или никелем. Перед наращиванием с изделия удаляются все камни.

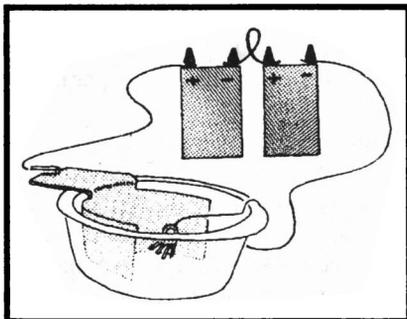


Рис. 4.9. Схема простой установки для гальванического покрытия

Установки для нанесения гальванического покрытия можно приобрести у фирм торгующих ювелирным оборудованием.

Простую установку для гальванического покрытия можно собрать самому (рис. 4.9, 4.10).

Чтобы покрыть изделие слоем меди, необходимо собрать гальваническую ванну и электрическую схему.

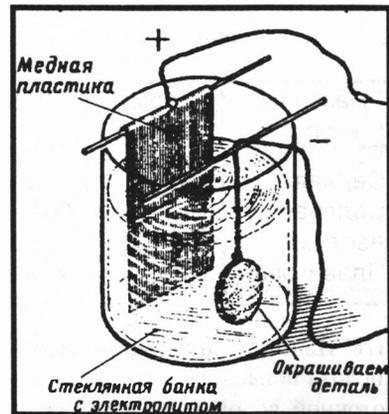


Рис. 4.10. Схема гальванической ванны

Электролит готовят следующим образом. В 10 л воды, добавляют 2 кг сернокислой окиси меди (медного купороса) и 0,2 л чистой серной кислоты.

Анод делают из чистой листовой меди, так как присутствие посторонних металлов - цинка, свинца и др. портят ванну. Толщина анода (медной пластинки) от 3 до 10 мм. К аноду подается напряжение 1,5 - 2 В, плотность тока 1-2 А/дм². Расстояние между катодом (изделием) и анодом не меньше 100 мм.

Трансформатор можно использовать от старого радиоприемника с напряжением на вторичной обмотке 6-12 В. Для ограничения тока, последовательно с диодом подключается резистор 51-150 Ом. В качестве выпрямителя переменного тока можно использовать полупроводниковые диоды. Д-303, Д-304 и Д-214 или аналогичные другие. Электрическая схема для гальванической ванны приведена на рисунке 4.11.

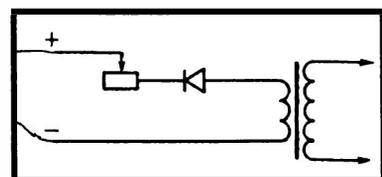


Рис. 4.11. Электрическая схема для гальванической ванны

Для получения гладкой поверхности необходимо покрытие проводить, медленно осаждая металл в течение 12-18 часов. По окончании процесса изделие очень тщательно промывают в воде. После нанесения покрытия изготавливаются резиновые пресс-формы по технологии, описанной в 2.2.



4.5. Обработка поверхности отливок

4.5.1. Очистка травлением

Следующий этап очистки изделий - это травление кислотой. Травление иначе называют отбеливанием. Процесс отбеливание выполняют с применением кислотных растворов. В таблице 4.4 приведены формулы и название основных кислот, используемых в ювелирном деле.

Основные кислоты, используемые в ювелирном деле

Таблица 4.4

Формула	Название кислоты	Формула	Название кислоты
H ₂ SO ₄	Серная	H ₃ BO ₃	Борная
HCl	Соляная	HCN	Синильная
HNO ₃	Азотная	H ₂ CrO ₄	Хромовая
HF	Плавиковая	H ₂ CO ₃	Угольная

Помните! Надо кислоту наливать в воду!!!

Если кислота попала на кожу, надо ее немедленно смыть проточной водой и мылом. Ожоги концентрированной серной кислотой очень опасны.

Для качественного и быстрого травления раствор кислоты с изделиями нагревают до кипения в сосуде из огнеупорного стекла или в медном корыте. После травления изделия моют в воде, а затем сушат. Для полной нейтрализации изделий можно погрузить их в раствор с пищевой содой. Для травления можно также использовать раствор соляной кислоты. Состав раствора – соляная кислота 50 частей, вода 50 частей. Этот раствор более активен при удалении с отливок окислов и приставшей формовочной смеси, чем серная кислота. Рабочая температура раствора 80-100°С.

Отбеливание проводят в стеклянных, фарфоровых или медных кислотостойких сосудах. При погружении и извлечении отливок из раствора обычно пользуются медным пинцетом.

Для того, чтобы ускорить процесс отбеливания отливок, раствор кислоты вместе с находящимся в нем отливками прогревают до кипения.

Если отливки оставить в растворе соляной кислоты больше 1 минуты, то они приобретают коричневый цвет.

Можно получить отливки с поверхностью, более обогащенной золотом, путем травления их в разбавленном растворе царской водки. При отбеливании в растворе царской водки на отливках могут возникнуть пятна от образовавшегося хлористого серебра. Их можно убрать, если в раствор ввести поваренную соль - NaCl или аммоний -Na₄Cl.

Для того чтобы получить цвет поверхности близкий к чистому золоту, рекомендуется использовать раствор, состоящий из смеси серной и азотной кислоты разбавленной в 2-4-х частях воды.

Для отбела отливок из сплавов золота также можно также использовать 10% водный раствор азотной кислоты. Температура раствора должна быть не менее 60-70°С, время обработки 5 мин.

Отбел проводят в следующем порядке:

1. Чтобы ускорить процесс травления, раствор кислоты, с находящимися в нем отливками, нагревают до кипения.

2. Горячий раствор кислоты сливают обратно в посуду.

3. Отливки тщательно моют проточной водой.

4. Чтобы полностью нейтрализовать оставшуюся на поверхности кислоту, отливки погружают в раствор кальцинированной соды Na₂CO₃ или бикарбонат натрия NaHCO₃.

5. Изделия опять моют водой и сушат.

Нельзя допускать попадание в раствор инородных металлов или любых загрязняющих веществ. Нельзя также сильно повышать температуру отбела, чтобы не произошел рост зерен в металле и, как результат, не произошло изменение его механических свойств.

После отбела отливок в кислотах по методике, описанной выше, поверхностный слой имеет некрасивый зеленовато-серый цвет. Его удаляют механическим, химическим или электролитическим способом.

4.5.2. Травление и очистка серебряных изделий

Травление и очистка серебряных изделий проводят в следующем порядке:

1. Окислительный обжиг при температуре около 600°С.

2. Охлаждения и отбеливания в травильном 10% растворе серной кислоты.

Отбел можно провести и без предварительного обжига. При этом надо в 10% раствор серной кислоты добавить соли – окислители, например, перманганат калия KMnO₄. Отбел можно также провести в 10% растворе кислого сернокислого калия KHSO₄.

Сульфидную пленку с поверхности серебряных изделий можно удалить с помощью раствора следующего состава:

Тиомочевина	80-85 г.
Этиловый спирт	60-65 г.
Моющее средство ОП-7	5-10 г.
Вода	1 л.

Раствор готовят в следующем порядке: сначала растворяют тиомочевину в воде, а затем добавляют моющее средство. Последним вводят этиловый спирт. Пленку удаляют промывкой серебряных изделий в этом растворе.

4.5.3. Голтование

Голтовку изделий производят во вращающемся барабане с использованием стальных шариков от 1 до 3 мм и моющих средств (рис. 4.12.).

В состав моющих средств могут входить мыльные стружки, моющие порошки, раствор соды, аммиак, хлористая известь, гидроокись натрия и хлористый натрий. Барабан загружают на 50-80%. Причем, шариков должно быть больше отливок - соотношение шариков и отливок не менее 3/1. Моющего раствора должно быть столько, чтобы шарики были полностью скрыты под ним.

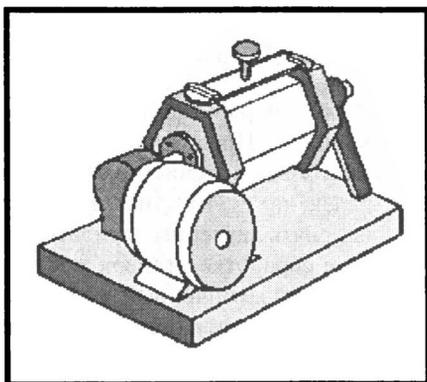


Рис. 4.12. Установка для голтования

Скорость вращения барабана 60-80 об/мин. Продолжительность процесса голтовки 2-10 часов.

При вращении барабана отливки и шарики непрерывно перемешиваются в растворе с моющими средствами. Моющие составы удаляют грязь с поверхности и ускоряют процесс полирования. Голтование может устранять такие дефекты литья, как облои, некоторые виды пористости и др.

4.5.4. Электрохимическое полирование

Электрохимический процесс анодного полирования изделий из золота заключается в анодном травлении, в результате которого происходит растворение шероховатостей поверхности, а затем и сглаживание.

Для полирования золотых сплавов электролиты готовятся на основе тиомочевины - 90 г. и 10 мл концентрированной серной кислоты в 1 л дистиллированной воды. Температура электролита должна быть 60°C. Обрабатываемые изделия являются анодом, т. е. электродом, подключенным к положительному полюсу источника тока. В качестве катодов используют листовой титан. Плотность тока 5-7 А/дм², время полировки 3-5 мин.

После полировки изделия промывают и помещают в раствор перекиси водорода, подкисленный серной кислотой. Затем промывают водой и сушат. Источник тока - выпрямитель с напряжением 12-30 В и током 10-20 А. Если изделия не пассивировать в растворе перекиси водорода, на них могут появиться коричневые пятна от тиомочевины, которые выступают из пор.

Электролит для полирования меди и ее сплавов.

Серная кислота концентрированная	10 г.
Уксусная кислота	12,5 г.
Хромовый ангидрид	12,5 г.
Двуххромовокислый натрий	37,5 г.
Вода	1 л.

Рабочая температура электролита 60-75°C, плотность тока 25-50 А/дм².

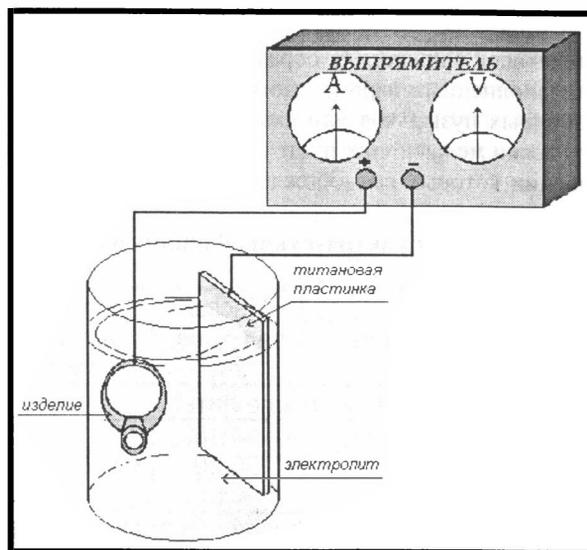


Рис. 4.13. Схема установки для электрохимической полировки

4.5.5. Ультразвуковая очистка

Ультразвуковая очистка - это процесс очистки под действием ультразвуковых колебаний и жирорастворяющего (моющего) состава. Ультразвуковыми колебаниями называют звуковые колебания, не воспринимаемые нашим ухом, с частотой от 20 до 10⁶ кГц.

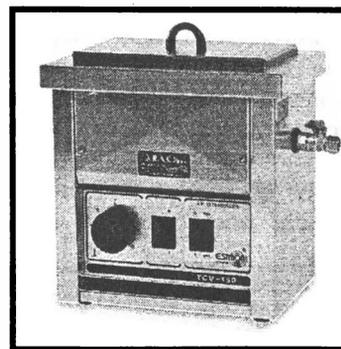


Рис. 4.14. Установка для ультразвуковой очистки изделий

В качестве моющих растворов при очистке могут быть использованы трихлорэтилен, стиральные порошки, мыло и др. В таблице 4.5 приведены составы моющих растворов для ультразвуковой очистки изделий. Рабочая температура растворов должна быть 50-60°C.

Ультразвуковая установка состоит из металлического ящика, в котором находится ванна из нержавеющей стали. Ванна может быть наполнена любым составом моющих растворов. На дне ящика установлен генератор высокой частоты, который питает ультразвуковой преобразователь - пьезоэлектрический кристалл (вибратор). Вибраторы с частотой колебания в 40-80 кГц установлены под дном ванны. Генератор дает высокочастотные электрические колебания, вибраторы преобразуют их в механическую ультразвуковую энергию, которая распределяется по всей ванне.

Энергия ультразвука приводит к кавитации очищающей жидкости (к образованию в жидкости пустот, заполненных паром, газом или их смесью – кавитационных пузырьков или каверн). При этом возникают тысячи мельчайших пустот или пузырьков, при разрушении которых высвобождается механическая энергия.

Растворы для ультразвуковой очистки изделий

Таблица 4.5

Состав раствора	Массовая доля, г/л	Время очистки, мин
Очистка после литья		
Гидроокись натрия	10-15	15-20
Трилон Б	50-80	
Сульфонал	9-10	
Очистка после шлифования и полировки		
Состав 1		
Тринатрийфосфат	5-10	2-2,5
Сульфонал	1	
Трилон Б	1-3	
Вспомогательные вещества	3-5	
Состав 2		
Водный раствор аммиака	40	3
Мыло хозяйственное	0,5	

Благодаря этому поверхность моющего раствора приходит в волнение. В местах наибольшего волнения, имеется ультразвук наивысшей интенсивности. Очищаемые предметы (изделия) укладывают в проволочные корзины и погружают в вибрационную ванну - в места наивысшей интенсивности ультразвука - наибольшего волнения (рис. 4.15).

После ультразвуковой очистки, изделия промывают чистым раствором и сушат.

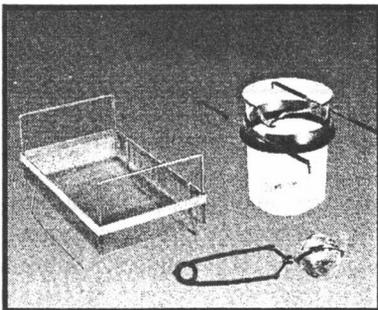


Рис. 4.15. Приспособления для ультразвуковой очистки

4.5.6. Химическая окраска золота

Изделиям, изготовленным из золота 585-й и 750-й пробы, можно придать путем химической окраски цвет червонного золота. Для этого изделия сначала обжигают, а затем опускают на 2-3 мин в кипящую ванну, состоящую из 200 г калийной селитры, 100 г поваренной соли, 100 г соляной кислоты и 50 г воды (на 100 г изделий).

Изделия подвешиваются на крючке из серебряной проволоки и все время им помешивают. Реакти-

вы при кипении выделяют газообразный хлор и очищают изделия от окиси меди.

В результате с поверхности изделий удаляется медь и одновременно растворяется незначительное количество золота. После окраски изделия вынимают из ванны, и промывают в чистой воде мелкой латунной щеткой, увлажненной старым пивом или раствором винного камня. После этого изделия сушат в мелких опилках из твердого дерева.

4.5.7. Крацевание

Крацевание - обработка изделий при помощи металлических щеток. Проволоки на щетках бывают стальные или бронзовые сечением 0,08-0,15 мм².

Цель крацевания - это очистка поверхности отливок, окалины, снятие заусенцы, придать поверхности блеск и т. д. При обработке отливок жесткими щетками они приобретают законченный вид с характерной матовой поверхностью. При обработке мягкими щетками поверхность отливки приобретает блеск.

Для крацевания изделия все время смачивают старым пивом или квасом. Оптимальное вращение щетки диаметром 30 см 1500-1600 об/мин.

4.5.8. Механическое полирование

Механическое полирование проводится на полировальных станках (рис. 4.16) с помощью полировальных кругов.

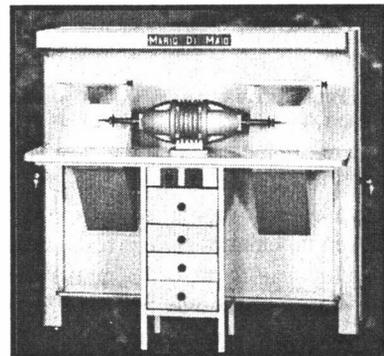


Рис. 4.16. Двухместный полировальный станок

Полировальные круги - это шерстяные или хлопчатобумажные круги, на которые наносят специальные полировочные пасты (рис. 4.17).

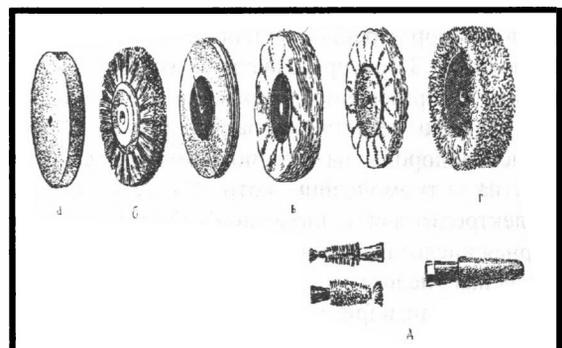


Рис. 4.17. Полировальные круги а- фетровый, б- волосяной (щетка), в- матерчатый, г- нитяной. д- для внутреннего полирования колец.

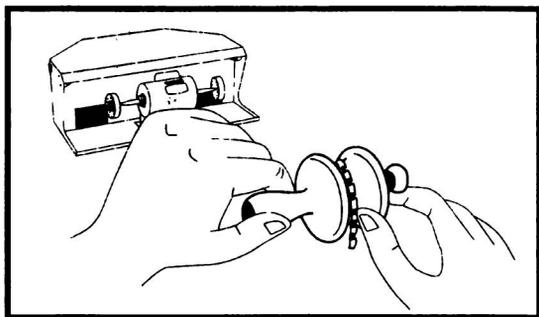


Рис. 4.18. Приспособление для полировки цепей и браслетов

Полировочные пасты

Таблица 4.6

Компоненты	Содержание %		
	Грубая	Средняя	Тонкая
Оксид хрома (зернистость 28...10)	78,0	73,0	
Парафин	-	-	7,0
Оксид железа	-	-	74,0
Стеарин	10,0	25,0	15,0
Керосин	2,0	-	-
Кислота олеиновая	-	2,0	4,0
Животный жир (технич.)	10,0	-	-

Фетровые круги применяют для первоначального полирования гладких, ровных и выпуклых поверхностей.

Волосяные круги служат для полирования ювелирных изделий сложной конструкции с ажурной и рельефной поверхностью.

Матерчатые круги служат для окончательного полирования.

Нитяные круги применяют для наведения глянца на поверхности изделий.

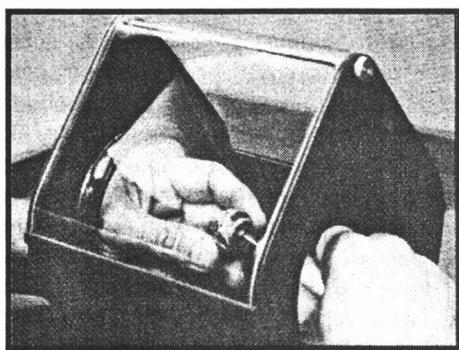


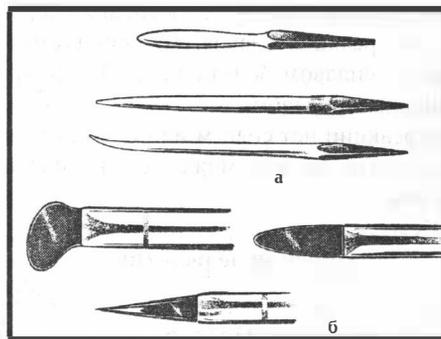
Рис. 4.19. Приспособление для полировки

Оптимальные размеры полировальных кругов 70-100 мм в диаметре. При полировке изделия прижимают к кругу с небольшим усилием. Для полировки применяют полировочные пасты (табл. 4.6).

4.5.9. Ручное полирование

Ручное полирование производят специальными полировальниками из стали или гематита. Полироваль-

ник представляют собой стержень с идеально отполированным рабочим концом. При ручном полировании силой водят полировальником по поверхности изделий, сглаживая выступы, риски и другие дефекты. При этом поверхность изделий смачивают раствором соды, мыла или пива.



Полировальники из стали – а и гематита - б



4.6. Определение пробы благородных металлов и их сплавов

Благородные металлы и сплавы, с которыми работают литейщики при литье ювелирных изделий - это золото, серебро, палладий, платина и сплавы на их основе. Приобретая эти металлы и сплавы, литейщик должен абсолютно точно определить количественное содержание драгоценного металла в сплаве, т. е. пробу сплава.

Проба - это количество чистого драгоценного металла в сплаве. Абсолютно точно пробу можно определить в лабораториях инспекции пробирного надзора. Ниже описаны методы определения проб, которые могут использовать ювелиры - литейщики в своих мастерских.

4.6.1. Качественные методы определения пробы

Для определения качественного и количественного содержания драгоценного металла в сплаве необходимы следующие оборудование и кислоты:

1) пробирный камень; 2) пробирные иглы; 3) пробирные кислоты (азотная кислота, соляная кислота, царская водка); 4) хлорное золото; 5) азотнокислое серебро; 6) хромпик.

Пробирный камень - это камень густо черного цвета, который имеет мелкозернистую структуру с матово отшлифованной поверхностью. Пробирный камень должен быть кислотостойкой и тверже исследуемого металла.

Пробирная игла - это полоска из металла (латуни), на конце которой припаяно маленькая полоска из драгоценного сплава с точно известной пробой.

Пробирные кислоты (реактивы) - это водные растворы кислот или солей (табл. 4.7).

Для того чтобы установить содержится ли золото в данном слитке или куске металла желтого цвета, необходимо пропилить в нем глубокий надрез и капнуть

туда азотной кислотой. При этом возможны следующие варианты:

Если на месте надреза идет явная реакция, дающая зеленый цвет, то испытуемый металл - медь или латунь, или же имеем случай покрытия золотом.

1. Если идет реакция, но цвет - розовато-кремовый, то испытуемый металл является сплавом серебра.
2. Если же реакция слабая, то испытуемый металл может быть сплавом золота ниже 333-й пробы или недорогим сплавом.
3. Если реакции нет совсем или она незначительная, то испытуемый металл может быть сплавом выше 500-й пробы.

Пробирные реактивы

Таблица 4.7

Пробы	Состав	К-во, см ³
Для золота 375	Азотная кислота,	20
	концентрированная Вода	20
585	Азотная кислота, концентрированная	20
750	Азотная кислота, кон-	40
	центрированная Соляная кислота,	1
	концентрированная Вода	15
Для серебра	Бихромат калия	1 гр.
	Серная кислота, концентрированная	3
	Вода	32
Для платины	Азотная кислота, концентрированная	18
	Соляная кислота, концентрированная	24
	Вода	6

После того, как установлено содержание золота в данном слитке, переходим к более качественному анализу. Сначала с помощью шабера или напильником очищаем небольшую поверхность испытуемого предмета. Затем зачищенным местом проводим черту (штрих) на пробирном камне шириной 3-4 мм и длиной 25 мм. Стеклопалочкой наносим каплю концентрированной азотной кислоты предназначенной для сплава золота 585-й пробы. При этом возможны следующие варианты:

1. Если через 5-6 секунд штриховая полоса под действием кислоты растворяется без остатка, то испытуемый металл может быть сплавом золота ниже 333-й пробы.
2. Если штриховая полоса окрашена в коричневый цвет, то испытуемый металл может быть сплавом золота от 333-й до 500-й пробы.
3. Если же цвет штриховой полосы не меняется после 5-6 секундного действия кислоты, то испытуемый металл выше 585-й пробы.

Для определения содержания благородных металлов в слитке белого цвета, проводим следующие процедуры проверки. Очистив поверхность с помощью шабера, наносим на нее раствор хлорного золота. При этом возможны следующие варианты:

1. Если через 1-2 секунды цвет поверхности станет темно - зеленым, то этот слиток является сплавом высокопробного серебра или чистым серебром.
2. Если через 1-2 секунды цвет поверхности становится желтым и протекает реакция с выделением газов, то этот слиток - алюминий.
3. Если же через 30-40 секунд поверхность становится черным, то этот слиток из олова.

Для исследуемого слитка серовато-белого цвета возможны следующие варианты:

1. Если, после нанесения хлорного золота на поверхность, цвет не меняется (раствор не действует), то этот слиток из платины.
2. Если через 1-2 секунды цвет становится желтым и затем быстро чернеет, то этот слиток состоит из цинка.
3. Если через 1-2 секунды цвет становится грязно-желтым, то этот слиток состоит из свинца.

При действии раствора хлорного золота (реактива) на сплав золота выше 585-й пробы не остаются никакие следы, на сплаве 585-й пробы остается слабое пятно, на сплаве 500-й пробы - пятно светло - коричневого оттенка, на сплаве 375-й пробы - темно - коричневого оттенка, на сплаве 375-й пробы и ниже - пятно переходящее от каштанового до черного цвета.

Пробу сплавов золота выше 585-й определяют, используя раствор царской водки.

Сплав золота выше 950-й пробы при нагревании его до красного каления и после охлаждения не меняет свой цвет.

Сплав золота, проба которого выше 990-й, при натирании на камне оставляет чешуйки.

Чистое серебро после нагревания до светло красного каления и затем охлаждения остается белым.

4.6.2. Количественный метод определения пробы

Быстрое определение пробы сплавов, содержащих драгоценные металлы, проводят на пробирном камне.

Для этого очищают поверхность испытуемого предмета с помощью шабера или напильника. Затем проводят очищенной поверхностью на пробирном камне черту шириной 3-4 мм и длиной 25 мм. Рядом на расстоянии 2-3 мм по обеим сторонам от испытуемой черты проводят пробирной иглой предполагаемой пробы такие же черты (рис. 4.20). С помощью стеклянной палочки наносят каплю пробирного реактива, на все три черточки (полоски), и наблюдают за скоростью реакции. Затем, через 15-20 секунд, эту каплю реактива промокают белой фильтровальной бумагой. При этом на черте нижней пробы появится более темное пятно, чем на черте с высокой пробой.

Эти процедуры определения пробы надо повторять до тех пор, пока пятна на пробирном камне не будут одинакового цвета. При этом визуальное наблюдение за реакцией реактива надо проводить исключительно при дневном свете.

Точность определения пробы на пробирном камне составляет 0,5%.

Существуют еще несколько более точных методов определения пробы драгоценных металлов и их сплавов (метод купелирование, химико-аналитический

метод, спектральный метод и т. д.). Метод купелирования описан в 1.8.3.

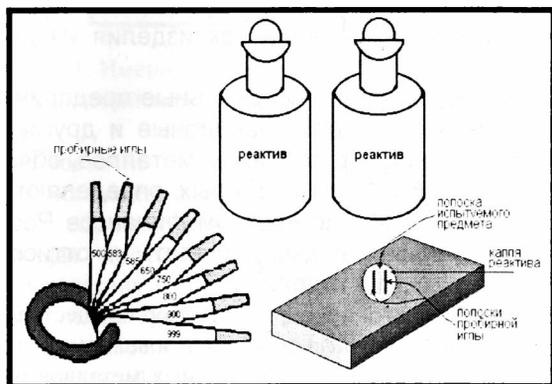


Рис. 4.20. Оборудование для быстрого определения пробы

4. 6.3. Проба и клеймо на ювелирных изделиях

Количество драгоценного металла в сплаве определяется в тысячных долях от его общей массы. Чистое золото имеет пробу 1000/1000. Например, 585-я проба означает 585,5% чистого золота в 100% сплава. С 1927 года в СССР введена метрическая система для определения проб. В России для ювелирных изделий из драгоценных металлов установлены следующие пробы:

для золота - 375, 500, 585, 750;
 для серебра - 800, 830, 875, 925, 960;
 для платины - 950;
 для палладия - 500, 850.

Старинным мерилем золота была золотниковая проба - количество золотников чистого золота в 1 фунте сплава. Например, золотниковая проба 56 означает, что на 96 золотников общей массы, т.е. на 1 фунт, приходится 56 золотников чистого золота.

Существовали следующие золотниковые пробы:
 для золота - 56, 72, 92, 94;
 для серебра - 72, 74, 82, 84, 87, 88, 89, 90, 91, 94;

Существует также каратная система проб:
 чистое золото равняется 24 каратам;

1 карат = 9,744 гр.

Для перевода пробы из метрической системы в каратную применяется следующая формула

$$K = \frac{24M}{1000},$$

где K - проба в каратах; M - проба метрическая.

Например, M = 750-я проба соответствует

$$K = 24 \times 750 / 1000 = 18 \text{ каратам};$$

$$M = 585\text{-я проба} - K = 14 \text{ каратам};$$

$$M = 999,9\text{-я проба} - K = 24 \text{ каратам}.$$

В таблице 4.8. приведены пробы золота в каратах и метрической системе.

В соответствии с федеральным законом от 26 марта 1998 г. № 41-ФЗ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях в Российской Федерации» установлена государственная монополия на апробирование и клеймение ювелирных изделий из драгоценных металлов. Ниже приводится текст этого закона.

Российская Федерация
 Федеральный закон

О драгоценных металлах и драгоценных камнях

№ 41-ФЗ 26.03.98 Б. Ельцин

Принят Государственной Думой 4 марта 1998 года
 Одобрен Советом Федерации 12 марта 1998 года.

Статья 13. Федеральный пробирный надзор

1. Федеральный пробирный надзор осуществляется в целях защиты прав потребителей ювелирных и других бытовых изделий из драгоценных металлов и драгоценных камней, прав изготовителей этих изделий от недобросовестной конкуренции, а также в целях защиты интересов государства.

2. Федеральный пробирный надзор включает в себя:

1) опробование, анализ и клеймение государственным пробирным клеймом всех ювелирных и других бытовых изделий из драгоценных металлов отечественного производства, а также указанных изделий, ввезенных на территорию Российской Федерации для продажи;

2) экспертизу оттисков государственных пробирных клеймов;

3) контрольные анализы и техническую экспертизу драгоценных металлов, продукции из них, а также лома и отходов драгоценных металлов;

4) экспертизу и диагностику драгоценных камней;

5) экспертизу в соответствии с постановлениями органов дознания, следователя, прокурора, суда и арбитражного суда;

6) экспертизу музейных и архивных предметов, изготовленных из драгоценных металлов и драгоценных камней, а также контроль за обеспечением сохранности указанных предметов;

7) государственную сертификацию драгоценных металлов, драгоценных камней и продукции из них;

8) специальный учет организаций, в том числе воинских частей и воинских формирований, и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих операции с драгоценными металлами и драгоценными камнями;

9) постоянный государственный контроль за производством, извлечением, переработкой, использованием, хранением и учетом драгоценных металлов и драгоценных камней в организациях, определяемых Правительством Российской Федерации;

10) периодический государственный контроль за производством, извлечением, переработкой, использованием, хранением и учетом драгоценных металлов и драгоценных камней во всех организациях, осуществляющих указанную деятельность, в том числе в воинских частях и воинских формированиях, а также у индивидуальных предпринимателей, осуществляющих операции с драгоценными металлами и драгоценными камнями.

Позднее было принято постановление Правительства Российской Федерации о порядке опробования и клеймения изделий из драгоценных металлов. Ниже приводится текст этого постановления.

Правительство Российской Федерации
Постановление от 18 июня 1999 г. №643
г. Москва

О порядке опробования и клеймения изделий из драгоценных металлов

2. Опробование и клеймение ювелирных и других бытовых изделий из драгоценных металлов в Российской Федерации осуществляется Российской государственной пробирной палатой при Министерстве финансов Российской Федерации, образованной в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 2 февраля 1998 г. № 106.

3. Ювелирные и другие бытовые изделия из драгоценных металлов представляются на опробование и клеймение их изготовителем, а ввезенные на территорию Российской Федерации для продажи указанные изделия - организацией или индивидуальным предпринимателем, осуществляющим ввоз этих изделий.

8. В Российской Федерации для ювелирных и других бытовых изделий из драгоценных металлов устанавливаются следующие пробы:

платиновая - 950 (девятьсот пятидесятая);

платиновая - 900 (девятьсот);

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 (восемьсот);

палладиевая - 850 (восемьсот пятидесятая);

палладиевая - 500 (пятисотая);

9. Допускается изготовление изделий из золота 583-й пробы по заказам граждан из принадлежащих им ювелирных и других бытовых изделий из золота этой пробы. На территории Российской Федерации имеют хождение и реализуются ювелирные и другие бытовые изделия из драгоценных металлов, изготовленные и клейменные ранее в соответствии с порядком, действовавшим до утверждения настоящего постановления. При необходимости переклеймение изделий, прошедших клеймение до введения метрической системы мер, производится в соответствии с настоящим постановлением.

10. Производство или продажа ювелирных и других бытовых изделий из драгоценных металлов, не соответствующих ни одной из установленных проб, не допускается. Ювелирные и другие бытовые изделия из драгоценных металлов, в том числе ввезенные в Российскую Федерацию для продажи, имеющие пробу ниже одной из установленных настоящим постановлением для соответствующего драгоценного металла проб, должны

быть заклеены по ближайшей нижней установленной пробе. Изделия, имеющие пробу ниже установленной минимальной пробы, не подлежат клеймению и реализации как изделия из драгоценных металлов.

17. Организации и индивидуальные предприниматели, изготавливающие ювелирные и другие бытовые изделия из драгоценных металлов, обязаны иметь именные знаки, знаки которых определяются в установленном Министерством финансов Российской Федерации порядке, и ставить их оттиски на производимых ими изделиях.

Федеральный пробирный надзор осуществляется в целях защиты прав потребителей ювелирных и других бытовых изделий из драгоценных металлов и драгоценных камней и изготовителей этих изделий от недобросовестной конкуренции, а также в целях защиты интересов государства.

Пробирный надзор на территории России осуществляется Государственной пробирной палатой через территориальные государственные пробирные инспекции. Территориальные государственные пробирные инспекции имеют свои знаки удостоверения, которые зафиксированы на пробирных клеймах. Они присваивают знаки удостоверения (именники) юридическим и физическим лицам, занимающимся изготовлением изделий из драгоценных металлов.

Именник - это оттиск клейма изготовителя, который ставится (чеканится) на всех изделиях изготовителя, содержит индивидуальный знак изготовителя и знаки, указывающие на год клеймения. На рисунке 4.21 показаны именные предприятия производителей.

Пробы золота

Таблица 4.8

Тысячные	Караты	Плотность, кг/м ³
41,667	1	
83,333	2	
125,000	3	
166,667	4	
208,333	5	
250,000	6	11910
291,667	7	12320
333,333	8	12720
375,000	9	13140
416,667	10	13550
458,333	11	13950
500,000	12	14360
541,667	13	14770
583,333	14	15180
625,000	15	15590
666,667	16	16000
708,333	17	16400
750,000	18	16810
791,667	19	17220
833,333	20	17640
875,000	21	18050
916,667	22	18470
958,333	23	18890
1000,000	24	19300



Рис. 4.21. Именники предприятий производителей Прикаспийской Государственной инспекции пробирного надзора

Двоеточие и цифра на именнике означает год изготовления изделий – 1998-й. После числа, обозначающего год изготовления, располагается буква, обозначающая шифр инспекции пробирного надзора, в районе действия которого находится предприятие (3 - Прикаспийская Государственная инспекция пробирного надзора). Последние буквы (и цифры) обозначают код предприятий – производителей.

Шифры инспекций пробирного надзора с 1965 г.
Таблица 4.9

Инспекция пробирного надзора	Шифр инспекции пробирного надзора на клеймах
Бакинская	Б
Ереванская	Е
Киевская	К
Костромская	В
Красноярская	Я
Ленинградская	Л
Львовская	Д
Минская	П (с 1971г - Т)
Московская	М
Новосибирская	Н
Одесская	О
Рижская	Р
Свердловская	С
Таллиннская	Э
Ташкентская	У
Тбилисская	Г
Харьковская	Х
Литовский (с 1991г)	Ж
Молдавский (с 1974г)	Ш
Казахский (с1985г)	И
Дальневосточная (с1989г)	Ю
Прикаспийская (с 1990г)	З
Западная (с 1990г)	Ф
Поволжская (с 1974г)	П
Северная (с 1990г)	А

Государственное пробирное клеймо - это специальный знак, который чеканится на изделиях или накладывается электроискровым методом, или с помощью лазера государственными инспекциями пробирного

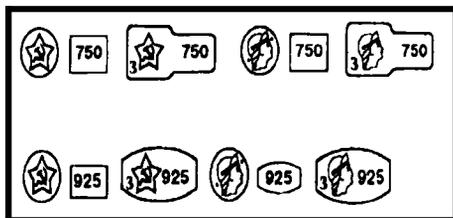


Рис. 4.22 . Эскизы пробирных клейм Прикаспийской Государственной инспекции пробирного надзора

го надзора. Оно состоит из знака удостоверения и знака пробы, которые представлены вместе (в одном изображении) или могут быть представлены отдельно (рис. 4.22).

В СССР с 1958 года на знаке удостоверения изображались серп и молот на фоне пятиконечной звезды. Этот знак используется и в настоящее время (рис. 4.23).

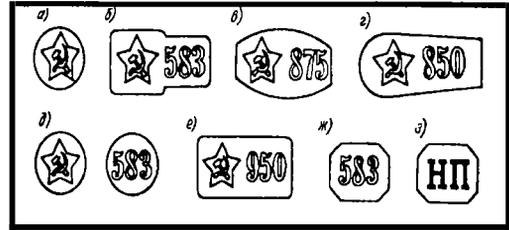


Рис. 4.23 . Пробирные клейма СССР основные (а-е) и дополнительные (ж,з)

Шифры инспекций пробирного надзора с 1994 г.
Таблица 4.10

Инспекция пробирного надзора	Местонахождение	Шифр инспекции пробирного надзора
Верхневолжская	Р/п Красное на Волге, Костромская обл.	В
Волго-Вятская	г. Нижний Новгород	Г
Восточно-Сибирская	г. Красноярск	Я
Дальневосточная	г. Хабаровск	Ю
Донская	г. Ростов на Дону	К
Западная	п. Янтарный, Калининградская обл.	Ф
Забайкальская	г. Улан-Удэ	Ж
Западно-Сибирская	г. Новосибирск	Н
Поволжская	г. Уфа	П
Подмосковная	г. Бронницы, Московская обл.	Б
Прикаспийская	г. Махачкала	З
Саха (Якутия)	г. Якутия	Д
Северная	г. Великий Устюг, Вологодский обл.	А
Северо-западная	г. Санкт-Петербург	Л
Уральская	г. Екатеринбург	С
Центральная	г. Москва	М

Шифры инспекций входят в состав клейма вместе со знаком удостоверения. При клеймении ювелирных изделий основные и дополнительные клейма ис-

пользовались следующим образом: а- для изделий в сочетании с одним из дополнительных клеев; б- для золотых и платиновых изделий; в- для серебряных изделий; г- для палладиевых изделий; д- для изделий с подвешенными к ним пломбами; е- для книжек с сульфидным золотом и серебром; ж- для разъемных и легко отделяемых, второстепенных и дополнительных частей изделий; з- для изделий, не соответствующих заявленной пробе.



Рис. 4.24. Микрофотография оттиска пробирного клея для золота 585-й пробы при 70-ти кратном увеличении



4.7. Как самому собрать литейное оборудование

Заводское литейное оборудование (плавильная печь, муфельная печь, вулканизатор, инжектор, литейная установка и др.) стоит очень дорого. Поэтому начинающие мастера-ювелиры могут сами изготовить простейшее литейное оборудование (самодельная электрическая плавильная печь, самодельные термопары, самодельная муфельная печь, самодельный вулканизатор, самодельная литейная установка и т.д.).

4.7.1. Самодельная электрическая плавильная печь

При конструировании печи следует учитывать объем тиглей, скорость плавки и, если это необходимо, возможность создания защитной среды и т. д. Быстрая плавка предпочтительней, так как в сплав попадает меньше газов.

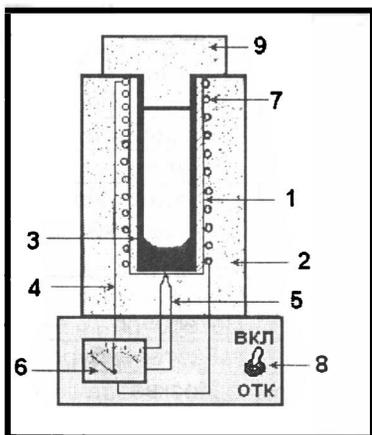


Рис. 4.25. Самодельная электрическая плавильная печь

Самодельная электрическая плавильная печь имеет камеру (шахту) с нагревательным элементом, представляющим собой обмотки из нихрома или тантала. В шахту помещают графитовые или алундовые тигли. Температура плавки устанавливается при помощи терморегулятора с точностью 1-2°C. Наибольшая температура для печи с нихромовой спиралью 1100-1150°C, с танталовой спиралью - 1300-1500°C.

Нагревательный элемент состоит из шахты (огнеупорной трубки)–1, теплоизоляции –2, графитового или алундового тигля–3, спирали–4, термопары–5, терморегулятора–7, основания, на котором установлены сигнальные лампочки и включатель – 8 и крышки–9.

Длина огнеупорной трубы равна 300мм. С обоих концов трубы сверлятся по два замковых отверстия для крепления нихромовой проволоки, которая будет нагревательным элементом. Длину проволоки можно вычесть по формуле

$$L = R \times S / \rho,$$

где R – сопротивление нагревательного элемента, определяемое по закону Ома; S – сечение нихромовой проволоки, ρ – удельное сопротивление нихрома, равное 1,2; L – искомая длина проволоки.

Нихромовую проволоку длины плотно наматывают на трубу в виде спирали и всю намотку спирали обмазывают жидким стеклом. После того как жидкое стекло подсохнет трубу надо обмотать асбестом.

Плавку в электрической печи проводят в следующей последовательности. Печь нагревают до температуры плавления. Затем ставят графитовый тигель, с необходимым количеством золота в печь, добавляя при этом борную кислоту, для предотвращения окисления расплавленного металла. Извлекают графитовый тигель специальными изогнутыми щипцами и быстро заливают расплавленный металл в опоку, находящуюся в камере, где уже создан вакуум.

4.7.2. Схема изготовления самодельной хромель – алюмелевой термопары

Для измерения температуры печи, расплава обычно используется термопары. Ниже описывается простейший способ изготовления термопары.

Если спаять две проволоки из различных металлов, например, из меди и висмута, и нагреть место спайки, то получаем источник тока, называемый термопарой. В этом можно убедиться, присоединив два других конца проволоки к гальванометру.

Таким способом, градуировав шкалу гальванометра, можно измерять как очень высокие, так и очень низкие температуры.

Для спайки провода надо собрать по схеме, по указанной на рисунке 4.27. Установить регулятор латра на нулевое деление. Повернув ручку регулятора латра на несколько секунд подаем ток. При появлении на месте контактов шарика расплава отключаем латр.

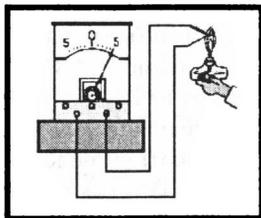


Рис. 4.26. Принцип работы термопары

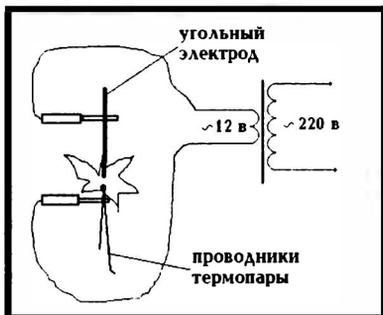


Рис. 4.27. Схема изготовления термопары

4.7.3. Самодельная муфельная печь

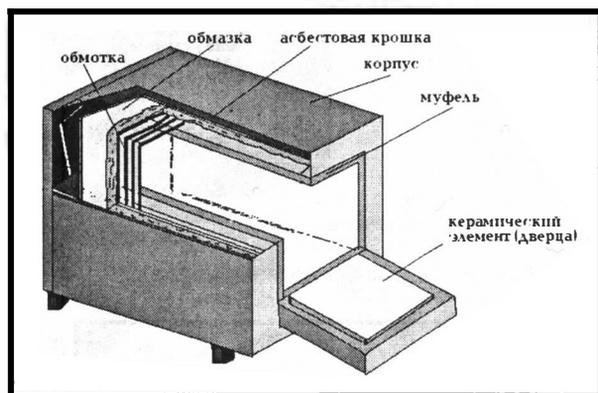


Рис. 4.28. Схема муфельной печи

Основная часть печи рабочая камера или муфель выполнена из огнеупорной глины (рис.4.28). Размер внутренней части муфеля 250x200x200 мм, а толщина стенок 10 мм. Вылепливают муфель по заранее изготовленной из картона форме. Глину наносят на внутреннюю поверхность коробки из картона, пропитанного парафином, чтобы не образовались при высыхании трещины. Толщина глиняного слоя 10мм. Из этой же глины надо лепить элементы дверца. После сушки на воздухе обе детали печи надо поместить в духовку и досушивают в течении двух часов при температуре 100°С. Далее их обжигают при температуре около 900°С. Затем дают медленно остыть и подгоняют дверцу печи к муфелю используя при этом напильники и шлифовальные шкурки.

На высушенную муфель наматывают 18 м нихромовой проволоки диаметром 0,75 мм совместно с проводом ПЭВ 0,8 - 0,9 мм, для того чтобы выдержать интервал между витками.

Чтобы обмотка не раскручивалась, первый и последний виток закручивают. Затем снимают провод ПЭВ и замазывают глиной образовавшиеся зазоры. По-

сле того как засохнет глина, делают вторую обмазку муфеля толщиной 12 – 15 мм из глины, смешанной с асбестовым порошком.

Готовый нагревательный элемент помещают в металлический корпус и крепят дверцу с помощью петель к корпусу. Все свободное пространство между нагревательным элементом и корпусом следует забить асбестовой крошкой. Для установки термопары в задней стенке нагревательного элемента нужно сделать отверстие диаметром 10мм. Печь рассчитан на переменный ток напряжением 220 вольт.

Небольшую муфельную печь с температурой нагрева до 1000°С можно изготовить из бытовой электроплитки (рис 4.29).

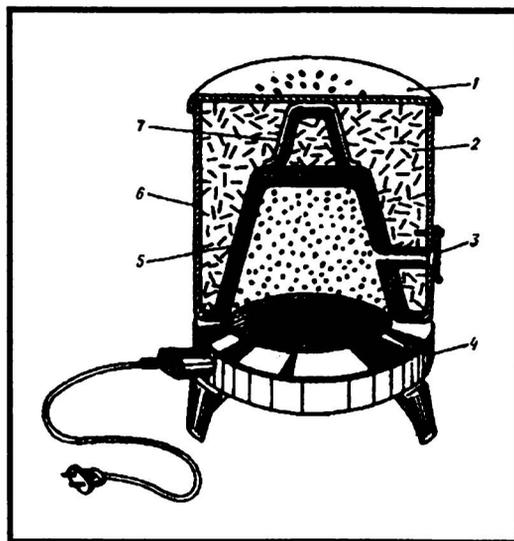


Рис. 4.29. Схема самодельной муфельной печи изготовленной из бытовой электроплитки

1-крышка; 2-асбестовая крышка; 3- шторка;
4- электроплитка; 5- муфель; 6- корпус; 7-металлическая распорка

Корпус его изготавливают из стального листа толщиной 0,5-0,9 мм. Муфельную чашку делают из огнеупорной глины, по технологии, описанной выше. Пространство между муфелем и корпусом для лучшего сохранения тепла необходимо заполнить асбестовой крошкой или другим пористым огнеупорным материалом. Особое внимание уделяют плотному прилеганию муфели к электроплитке.

4.7.4. Вулканизатор

Для изготовления вулканизатора нужен ручной пресс, электроутюг с регулятором температуры и металлическая пластина, в которую вмонтирован нагревательный элемент от утюга. На основании пресса устанавливаем утюг, как показано на рисунке 4.30. Общий вид самодельного вулканизатора показан на рисунке 4.31.

Резиновую пресс-форму накрывают гладкими дюралюминиевыми листами толщиной 1-1,5 мм или стальными листами 8-10 мм и зажимают горячим прессом.

Для установки температуры используется терморегулятор, установленной на утюге, который градуируется при помощи термопары.

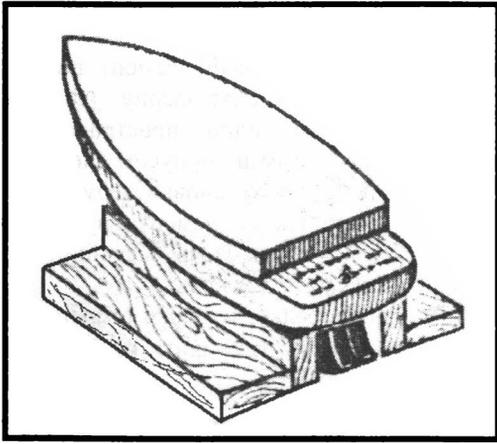


Рис. 4.30. Электроутиг с терморегулятором

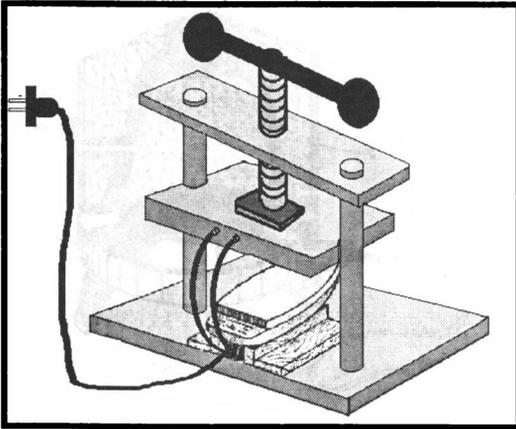


Рис. 4.31. Общий вид вулканизатора

В качестве вулканизатора можно также использовать простейшую струбину (рис. 4.32), используя при этом для нагрева обычную муфельную печь.

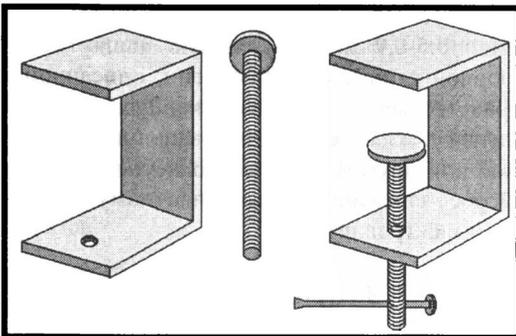


Рис. 4.32. Простейшая струбина

Простейшую струбину можно изготовить из трех деталей: кусочка швеллера, болта и гвоздя.

4.7.8. Самодельные литейные установки

Центробежная литейная установка

Центрифугу изготавливают так (рис.3.1). Через деревянную ручку пропускают металлический стержень толщиной около 5 мм. Ручка должна свободно вращаться на стержне. К стержню прикреплено коромысло длиной 25-30 см, изготовленное из проволоки

диаметром 4 мм, с согнутыми на концах кольцами. Подставку для опоки (диаметр 7-8 см, высота бортика 2,5-3 см) изготавливают из стального листа. В качестве подставки для опоки можно использовать подходящую консервную банку. К бортику подставки прикрепляют скобу высотой 11-12 см. Верх скобы делают в виде витого кольца или выступа как показано на рис. 3.1. Скобу соединяют с коромыслом при помощи проволочной серьги.

Вакуумная литейная установка

Самодельная вакуумная литейная установка (рис. 4.20) состоит из стальной камеры –1, внутрь которой вставляется опока –2, ресивера –5, соединенного с «1» вакуумными шлангом –3 с задвижкой –4. Ресивер соединяется с вакуумным насосом (рис. 4.34).

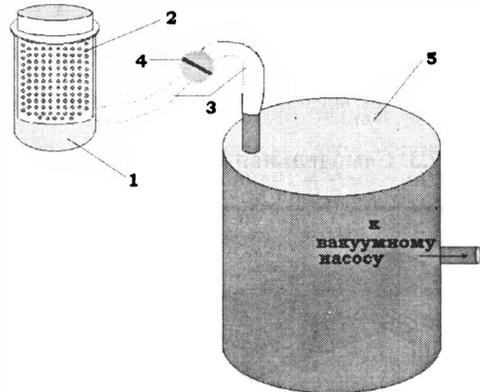


Рис. 4.33. Самодельная вакуумная литейная установка

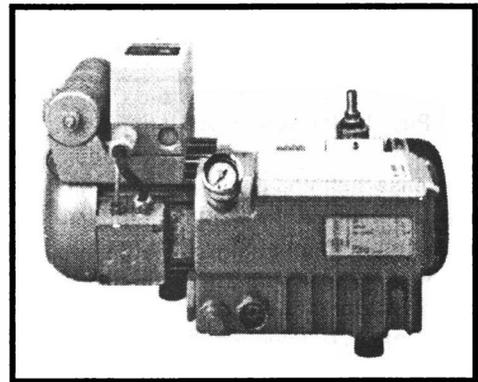


Рис. 4.34. Вакуумный насос

Схема и описания другой самодельной вакуумной установки приведена выше в параграфе 4.2 (рис. 4.3).

4.7.9. Самодельная универсальная горелка

Важным достоинством универсальной горелки является то, что она может работать и на газе (от магистральной или баллона через редуктор) и на бензине. Температура пламени в обоих случаях - 1200°C.

Основанием горелки служат две латунные трубки диаметром 12 мм, спаянные любым твердым припоем. На вертикальную трубку снизу надевают круглую

текстолитовую ручку, а за ней на резьбовой хвостик - штуцер воздушного шланга. На короткую часть горизонтальной трубки навинчивают до упора второй штуцер. В средней части его отверстия диаметром 6 мм плотно посажена медная трубка с впрессованным наконечником-жиклером. Через штуцер этой трубки подают горючий газ. Выходя из отверстия жиклера, он смешивается с поступающим из ручки воздухом и образует горючую смесь, которая далее попадает в форсунку-рассекатель. Эта деталь - самая сложная, но владеющему элементарными навыками работы на токарном и сверлильном станках изготовить ее не составит большого труда. И, наконец, корпус рассекателя. Он представляет собой выточенную из нержавеющей стали короткую гильзу, наворачиваемую на резьбовой поясок форсунки. Внутренний диаметр гильзы подогнан по размеру диска рассекателя так, чтобы зазор был минимальным.

Конструкция горелки обеспечивает ее надежную работу при разных давлениях подаваемой горючей смеси. Основной поток, поступающий через центральное отверстие форсунки, окружен «коронай» запальных огоньков, не дающих пламени погаснуть, оторвавшись от форсунки.

В отличие от горелок эжекционного типа, где необходимый для горения воздух подсасывается потоком подаваемого под относительно большим давлением газа, данное приспособление рассчитано на принудительную подачу воздуха.

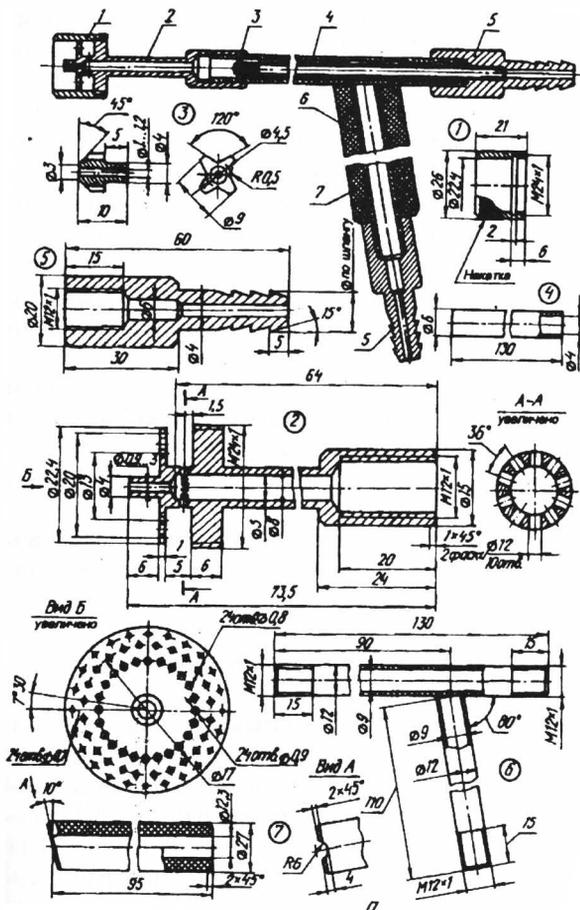


Рис. 4.35. а - горелка в сборе:
1-корпус рассекателя; 2-форсунка рассекателя; 3-жиклер; 4-направляющая трубка; 5-штуцеры; 6-основание; 7-ручка

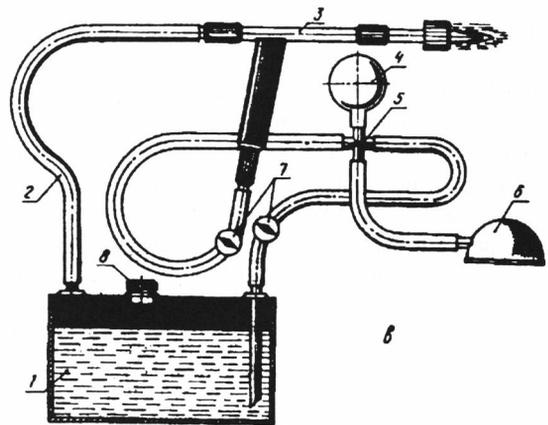
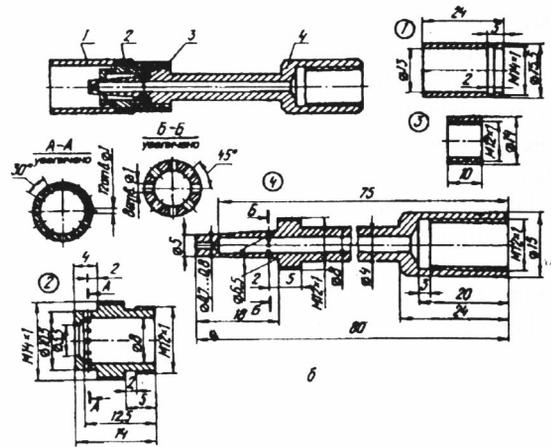


Рис. 4.35. (продолжение) б - форсунка с малой производительностью:
1-гильза раскислителя; 2-раскислитель; 3-гайка; 4-форсунка;
в-схема установки для работы на бензине: 1-бочок; 2-шланг для подачи горючего газа; 3-горелка; 4-ресивер; 5-крестовина; 6-насос; 7-регулирующие краны; 8-крышка бачка

Вместо малогабаритного компрессора можно воспользоваться ножным насосом - «лягушкой».

Чтобы сгладить пульсации воздуха, встраивают параллельно насосу ресивер - камеру от мяча или автопокрышки. Чем больше объем ресивера, тем ровнее протекает процесс горения.

Для работы горелки от газовой плиты необходимо аккуратно снять крайнюю конфорку и надеть шланг горелки на подающую трубку плиты. Убедившись в герметичности соединения, надо подсоединить второй шланг к источнику воздуха и, немного открыв подачу газа, зажечь горелку. Добавляя воздух, можно добиться ровного голубого пламени. Длину факела в небольших пределах можно изменять количеством подаваемого газа. Однако, если предстоит выполнять разные работы, нужно изготовить набор форсунок-распылителей с центральным отверстием от 0,9 до 3 мм. Форсунка, изображенная на рис. 4.35, б, предназначена для самой тонкой работы.

Для работы на бензине (рис. 4.35, в) понадобится небольшой герметичный бачок, например, от старой паяльной лампы. В его верхнюю стенку впаивают две трубки: короткая - для отвода паров и длинная, почти до самого дна, - для подачи воздуха. Широкая заливная горловина должна закрываться резьбовой пробкой с

резиновой прокладкой. Теперь воздух от насоса и ресивера через один кран поступает в горелку, а через другой - в бачок. Над поверхностью образуется смесь воздуха с парами бензина.

Соединительные шланги желателно применять из бензостойкой резины. Толщина их стенок может быть небольшой, так как рабочее давление газа незначительно.

Регулировать, подачу горючего газа и воздуха можно медицинскими краниками с притертыми коническими золотниками, однако более надежны краны от газовой плиты.

Горючий газ, поступая в горелку и смешиваясь там с необходимым количеством воздуха, сгорает с высокой температурой.

Работа с горелкой на газе не более опасна, нежели пользование газовой плитой, и на бензине тоже, если соблюдать следующие простые правила. Бачок следует заполнять бензином на одну четверть. Подкачав воздух в ресивер, необходимо открыть кран подачи воздуха в бачок, поджечь выходящий из форсунки газ и лишь затем отрегулировать пламя добавкой необходимого количества воздуха. По окончании работы нужно перекрыть кран на рукоятке горелки. Вообще подача воздуха ножным насосом обеспечивает полную безопасность работы. Применяя компрессор или другой высокопроизводительный источник воздуха, необходимо следить, чтобы в бачке не создавалось слишком большое давление либо не произошел выброс через воздушную трубку.



4.8. Полезные сведения

Асбест – это огнеупорная смесь из асбестового волокна (минерал группы силикатов).

Апельсиновая корка - дефект поверхности отливки, вид которой в определенной степени оправдывает свое название. Появление этого дефекта может быть связано с несоблюдением режима прокалывания форм.

Драгоценные металлы - золото, серебро, платина и палладий.

Датское серебро. Серебряные изделия, изготовленные в Дании, содержат 830/1000 чистого серебра. Изделия изготовленные для экспорта - 925/1000 чистота серебра.

Заливка - операция по изготовлению отливок, состоящая в заполнении полости литейной формы расплавленным металлом.

Золото растворяется в «царской водке», ртути, калиевом и натриевом цианиде.

Золотой (серебряный) лом - старые, несовременные или сломанные драгоценности различной пробы. Предназначаются для переплавки и переработки в беспримесный металл.

Засор в отливках. Отливки засоряются формовочной массой и шлаком материала тигля. Для устранения засора в отливках надо своевременно заменять отработанные тигли. Перед заливкой необходимо сни-

мать флюс с поверхности расплавленного металла. Другой причиной засора может быть загрязненность сплава посторонними включениями.

Ингус – специальное приспособление для отливки металла, имеющее выемку параллелопipedной формы. Ингусы могут быть монолитными или разборными. Разборные ингусы могут менять размер и форму ложа.

Карборунд - соединение кварцевого песка и порошкового угля (кокс), которое появляется в результате редукиции в электрических печах. Он тверже корунда и предназначен для шлифовки.

Как отбелить серебро? Серебро можно отбелить отжигом, травлением в слабом растворе серной кислоты и крацеванием поверхности латунной проволочной щеткой. Особенно эффективно для очистки серебряных изделий от оксидных и сульфидных пленок, раствор следующего состава:

Теомочевина	80-85 г
Этиловый спирт	60-65 г
Моющее средство ОП-7.....	5-10 г
Вода	1 л

Для получения раствора сначала в воде растворяют теомочевину, затем моющее средство, последним добавляют этиловый спирт.

Кармазин - находящийся посередине камень, окаймленный мелкими одинаковыми камнями (например, овальный сапфир, окруженный бриллиантами).

Карат – 1. Мера чистого золота, основанная на 24-каратной шкале. 2. Единица массы при взвешивании самоцветов. Название произошло от семян средиземноморской акации. В 1914 г. карат был стандартизирован во всем мире как карат метрический (кар). В 1г. содержится 5 кар, в 1 унции системы авердюпойз – 141,747 кар, а в 1 тройской унции – 155,515 кар. 1 карат равен 4 гранам (единица измерения массы жемчужин и массы мелких необработанных алмазов) и 100 поинтам (единица массы для мелких ограненных алмазов).

Как устранить брак в сплаве золота? Переплавкой, перед разливкой можно добавить немного сублимата, двухлористой ртути (быстродействующий яд).

Капель - пористый сосуд (тигель) из костяной муки и магнезии или из цемента, предназначенный для анализа пробы золота и серебра.

Кастинг – отливка металла в заготовленную форму.

Крацевание – это распространенный способ получения фактурной поверхности с помощью металлической щетки.

Краткие сведения о самородном золоте

Чистое золото - ярко-желтый блестящий металл. Но цвет самородного золота в значительной мере зависит от состава примесей: так, медь придает ему зеленоватый оттенок, серебро - светло желтый. Высокопробное золото имеет медно-красный цвет. В таблице 4.11 приведены наиболее распространенные минералы, содержащие золото.

Существуют и другие минералы золотистого цвета, в которых золото не содержится. Это можно точно определить не только по внешнему виду и

удельному весу, но и при помощи черты, провиденной ими по пробной фарфоровой пластинке. Вместо специальной пластины можно использовать осколок фарфоровой чашки, сняв предварительно эмалевое покрытие, а затем зашлифовав наждачной шкуркой.

Наиболее распространенные минералы золота
Таблица 4.11

Наименование материалов	Содержание золота в %	Примеси, %
Золото	70-100	Серебро до 30; железо 0-1; медь 1-1,4
Электрум	57-70	Серебро 30-43; железо 0-1; медь 0-14
Кюстелит	20-28	Серебро 72-80-
Медистое золото	74,3-80,1	Серебро 2,3-20; медь 9-20,4; бериллий 0-0,26
Порпечит	85-98	Серебро 4,17; медь 0,1; рубидий 8,2-11,6
Мольдонит	64,5	Бериллий 35,5
Платинистое золото	86	Серебро 3; платина 10,5
Иридийное золото	62,1	Серебро 2,1; железо 0,6; медь 0,6; иридий 30
Родистое золото	88,4	Родий 11,6
Золотые амальгамы	34,2-41,6	Ртуть 57,4-61; серебро 0-5; платина 0-0,1

Пирит дает на фарфоровой пластине бурочерную черту. **Халькопирит** – зеленовато-черную черту. **Пирротит** – серовато-черную черту. **Борнит** - серо-черную черту. **Пентолант** - буровато-черную черту. Только золотосодержащие минералы дает на фарфоровой пластине золотисто-желтую черту.

Ликвация - неоднородность химического состава отливок, обусловленная кристаллизацией в интервале температур.

Нейзильбер - это сплав меди, никеля и цинка

Очистка изделий из золота. Золото-медные сплавы хорошо очищаются 5-10%-ным раствором лимонной или уксусной кислоты. После очистки изделия тщательно промывают.

Облой - образование в формах трещин, которые заполняются металлом во время литья. Трещины в формах появляются из-за нарушения технологии при формовке опок, несоблюдение режима прокалывания форм и т. д.

Отжиг золота. В результате механического воздействия слитков сплавов золота становится более твер-

дым и менее эластичным, а также теряет прочность и гибкость. Отжиг возвращает ему первоначальную мягкость. Для уменьшения напряжений в затвердевших отливках обычно применяют отжиг.

Обезжиривание изделий. Золотые изделия обезжиривают в кипящем 10-20% растворе каустика.. Поверхность изделий, загрязненную жировыми или смолистыми веществами очищают органическими растворителями (ацетон, керосин, ксилол, толуол, эфир, уайт-спирт и др.) Более эффективное обезжиривание изделий из золота и серебра достигается электрохимической обработкой в электролите следующего состава:

Едкий натр (NaOH) 20-30 г/л
Кальцинированная сода (Na₂CO₃) 20-30 г/л
Тринатрийфосфат (Na₃PO₄·12H₂O) 50-60 г/л
Жидкое стекло (Na₂SiO₃) 5-10 г/л

Рабочая температура электролита 70-80°С, плотность тока 3-10 А/дм², продолжительность обработки от 2 до 15 минут. Изделия крепят на катоде, анодом служит лист нержавеющей стали.

Прибыли - резервуар жидкого металла необходимой для компенсации объемной усадки.

Плавка золота и серебра. Золото и серебро плавят в графитовом или шамотном тигле.

Применение борной кислоты при пайке. Чтобы полированный предмет в процессе пайки не потерял своего блеска, его смачивают водой, и посыпают порошком борной кислоты. Борная кислота предохраняет металл и закрепленные камни от прямого жара. После охлаждения предмет оставляют некоторое время в воде, затем протравливают в травильном растворе и полируют.

Причины брака золота при обработке – загрязнение в сплаве (небольшая частичка олова или платина), металл недостаточно расплавлен или допущен его пережог, неравномерный отжиг и небрежная прокатка.

Полировочная паста - натуральный полировочный крокус из гематита или искусственная паста - колькотар, получаемый из железного купороса (колечданного огарка).

Почернение золотых изделий при их носке. Почернение происходит от химического воздействия, например использования некоторых косметических средств, наружных или внутренних лекарств и т. д.

Поллорварная монета США содержит 40% серебра.

Цена за унцию сплава 90% платины и 10% иридия в США - 200 долларов (1976 г).

Перевод английский мер в метрическую систему.

Меры длины.

1 дюйм25,4мм
1 фут = 12 дюймам304,8мм
1 ярд = 3 футам = 36 дюймам = 91,44мм91,44мм
1 миля (сухопутная) = 1760 ярд = 5280 фут.....1609м
1 миля (морская) = 6080 футам1853,2м

Мера площади

1 кв. дюйм.....6,45 кв.см
1 кв. ярд = 9 кв. футам = 1296кв. дюймам0,836кв.м
1 акр = 4840кв. ярдам = 43560кв. футам4047кв.м

1 кв. миля = 640акрам258,99га

Меры сыпучих тел

1 пинта англ.=20 унциям = 1,03 пинты США 0,57 л
1 кварта англ. = 2 пинтам англ. = 40 унциям 1,13 л
1 бушель англ. = 4 квартам англ. 36,36 л

Меры жидких тел

1 унция.....0,028 л
1 пинта англ =20 унция англ.=1,2пинты США.....0,57 л
1 кварта англ. = 2 пинтам англ. = 40 унциям.....1,13 л
1 голлон англ.= 4 кварта англ = 160 унциям 4,55 л

Меры веса

1 гран64,8мг
1 драхма англ. 27,34 грана 1,77 г
1 унция = 16 драхмам28,35г
1 фунт (торговый) = 16 унциям 453,6 г
1 центнер (длинный) = 112 фунтам 50,8 кг
1 тонна (длинная) = 224 фунтам 1,016 т

Раковина сепии. Сепия - это морской моллюск, водится почти во всех морях, но чаще в Адриатическом море. Поверхность скорлупы раковины используется при изготовлении форм для отливки колец и других мелких предметов.

Серебро стерлинговое – сплав, состоящий из 92,5% серебра и 7,5% меди.

Солитер - крупный бриллиант, вделанный в оправу без других мелких драгоценных камней.

Твердость – способность минерала оказывать сопротивление истиранию. Твердость измеряется по относительной шкале Мооса. В качестве стандартов твердости в этой шкале используются 10 минералов:

1-тальк; 2-гипс; 3-кальцит; 4-флюорит; 5-апатит; 6-ортоклаз; 7-кварц; 8-топаз; 9-корунд; 10-алмаз.

Твердость ногтя по шкале Мооса равна примерно 2,5, медной проволоки–3, оконного стекла–5, стального лезвия–6,5. Любой минерал может царапаться другим минералом, твердость которого по шкале Мооса больше.

Тройские меры веса – применяются для взвешивания драгоценных металлов - золота, платины, палладия, серебра и т. д. во многих странах используются тройские меры веса.

Тройские меры веса

1 пеннивейт 24 грана
1 унция20 пеннивейт
1 фунт 12 унций

Массу в английских торговых унциях можно получить, умножив массу в тройских унциях на 1,0971, а массу в тройских унциях – умножив массу в английских торговых унциях на 0,9115.

Золотник 4,2556 г
Унция аптекарский 29,859 г
Унция тройская 28,350 г

Устранение олова с поверхности золотых изделий. Олово соскребают шабером, затем, чтобы олово растворилось, изделие погружают в соляную кислоту.

Формула перевода градусов Фаренгейта в градусы Цельсия:

$$T^{\circ}\text{C} = \frac{5(T^{\circ}\text{F} - 32)}{9}$$

Формула перевода градусов Кельвина в градусы Цельсия:

$$T^{\circ}\text{C} = \text{TK} - 273,16.$$

Химические добавки при плавке золота и серебра - бора, борная кислота, сода, селитра, кухонная соль, древесный уголь.

Циркония – торговое название *кубической окиси циркония*, изготавливаемой в Ваттенсе (Австрия). Искусственная имитация алмаза, предложенная в 1976 г., ZrO_2 .

Чистое золото и чистое серебро можно определить простейшим методом - «на зуб», который оставляет на поверхности металла вмятину.

Электролитическое золочение - осаждение чистого золота на базовый металл электролитическим способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бастанов В.Г. 300 практических советов. М.: Московский рабочий 1993.
2. Брпель Э. Теория и практика ювелирного дела. Л: Машиностроение, 1982.
3. Гутов Л. А. Литье по выплавляемым моделям сплавов золота и серебра. Л: Машиностроение, 1974.
4. Гутов Л. А., Библиак Е. Л., и др. Художественное литье из драгоценных металлов. Л: Машиностроение, 1988.
5. Гутов Л. А., Никитин М. К. Справочник по художественной обработке металлов. Санкт-Петербург: «Политехника», 1995.
6. Карел Тойбл. Ювелирное дело. М: 1982.
7. Зотов Б.Н. Художественное литье. М: Машиностроение, 1982.
8. Магомедов А.Д., Исрапилов К. М. Ювелирное дело Дагестана и пробирный надзор. Махачкала: 1999.
9. Магницкий О. Н., Пирайнен В. Ю. Художественное литье. Санкт-Петербург: 1996.
10. Марченков В. И. Ювирное дело. М: «высшая школа» 1992.
11. Новиков В.П., Павлов В.С. Изготовление ювелирных изделий. Санкт-Петербург: 1993.
12. Отступник И. А. Энциклопедия кладоискателя. Санкт-Петербург: «Респенкс», 1998.
13. Петриченко А. М. Искусство литья М: «Знание», 1975.
14. Прекрасное своими руками. Составитель Газорян С. «Детская литература», 1987.
15. Рид П. Дж. Гомологический словарь. Л: «Недра», 1986.
16. Смит Г. Драгоценные камни. М: «Мир», 1980.
17. Сухарев А. В. Справочная книга мастера – любителя. Минск «Беларусь», 1998.
18. Урвачев В. П., Кочетков В. В. и др. Ювелирное и художественное литье по выплавляемым моделям. Челябинск: «Металлургия», 1991.
19. Халилов И. Х., Гаврилов Э. С. Расчет электронной структуры и электросопротивления сплавов PdAu и PdAg – Металлофизика, 1990, т. 12 №1.
20. Adolfo Mattiello. Techniques of jewelry illustration and color rendering. Du-Matt Corporation. New Jersey: 1995.
21. Tim McGreight. The complete metalsmith. Massachusetts, U.S.A.: 1991.

Опечатки:

Стр. 2.(Предисловие), строка 16: **Росси - России**

Стр. 14. 1 колонка, строка 20: **Иридий - Индий**

строка 22: **иридия - индия**

Стр. 43. Рис. 2.42.: **Черте - Чертеж**

Рис. 2.43.: **изготовлению - Изготовление**

Стр. 46. 2 колонка, рис.: **формоасса - формомасса**

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ	6
1.1. Металлы и их свойства.....	6
1.2. Физические свойства металлов.....	7
1.3. Серебро и сплавы на основе серебра.....	9
1.4. Платина и металлы платиновой группы.....	11
1.4.1. Платина и его свойства.....	11
1.4.2. Палладий и его свойства.....	12
1.4.3. Родий и его свойства.....	12
1.5. Золото и сплавы на основе золота.....	13
1.5.1. Сплавы золота Au-Ag-Cu 583-й пробы.....	16
1.5.2. Сплавы золота Au-Ag-Cu 750-й пробы.....	16
1.5.3. Сплавы белого золота 585 и 750 пробы.....	17
1.6. Влияние примесей на свойства сплавов золота.....	19
1.7. Взаимодействие сплавов золота с газами.....	19
1.8. Очистка золота от примесей.....	20
1.8.1. Амальгамация.....	20
1.8.2. Очистка золота хлором (хлоринация).....	20
1.8.3. Очистка золота с помощью свинца.....	20
1.9. Очистка отходов золота.....	20
Глава 2. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	22
2.1. Изготовление мастер-модели.....	23
2.1.1. Технология изготовления восковых моделей.....	24
2.2. Изготовление резиновых пресс-форм.....	29
2.2.1. Вулканизационный пресс.....	29
2.2.2. Ювелирная модельная резина.....	29
2.2.3. Формовочные опоки, формовочный нож и держатель для пресс-форм.....	31
2.2.4. Схема изготовления резиновых пресс-форм из силиконовой резины.....	32
2.2.5. Схема изготовления резиновых пресс- форм из двухкомпонентной силиконовой резины CASTALDO Quick-Sil™.....	33
2.2.6. Схема изготовления резиновых пресс-форм из сырой каучуковой резины.....	34
2.2.7. Изготовление резиновых пресс-форм в мастерских.....	34
2.2.8. Разрезка резиновых пресс-форм.....	34
2.2.9. Пример разрезки резиновой пресс-формы.....	36
2.3. Литье воска под давлением.....	37
2.3.1. Восковой инжектор.....	37
2.3.2. Инжекторные воски.....	38
2.3.3. Технология изготовления восковок.....	39
2.3.4. Дефекты восковых моделей и их устранение.....	40
2.3.5. Изготовления воскового дерева («елочки»).....	42
2.4. Изготовление литейных форм.....	44
2.4.1. Формовочная масса.....	44
2.4.2. Подготовка восковых моделей для заливки формовочной массой.....	45
2.4.3. Опоки для литья.....	45
2.4.4. Технологические циклы получения литейных форм.....	46
2.4.5. Рекомендуемые циклы отжига формомасс.....	49

Глава 3. ПЛАВКА И ЛИТЬЕ	51
3.1. Простейшая центробежная литейная установка.....	51
3.2. Центробежная литейная установка с приводом от пружины.....	52
3.3. Вакуумные литейные установки.....	53
3.4. Промышленные литейные установки.....	54
3.5. Плавильные установки.....	56
3.6. Тигли.....	58
3.7. Литейные свойства сплавов.....	58
3.7.1. Поверхностное натяжение.....	58
3.7.2. Вязкость.....	59
3.7.3. Жидкотекучесть.....	60
3.8. Химический состав сплавов золота и их получение.....	61
3.8.1. Примеры расчетов составов сплавов золота.....	61
3.8.2. Пример расчета шихты для плавки сплавов золота.....	62
3.8.3. Лигатуры к сплавам золота 585-й и 750-й пробы.....	62
3.8.4. Бескадмиевые припои.....	63
3.9. Расчет количества металла, необходимого для отливок.....	66
3.10. Плавка сплавов золота.....	67
3.10.1. Плавка сплавов золота ЗлСрМ.....	68
3.10.2. Плавка опилок сплавов золота.....	69
3.10.3. Плавка сплавов золота открытым пламенем.....	70
3.10.4. Заполнение литейной формы расплавленным металлом.....	70
3.10.5. Процесс затвердевания сплава.....	70
3.10.6. Процесс формирования усадочных пустот в отливках.....	72
3.11. Заливка металла в опоку при центробежном литье.....	74
3.12. Заливка металла в форму при вакуумном литье.....	74
3.13. Охлаждение опоки с отливками.....	75
3.14. Очистка от формомассы и удаление литников.....	75
3.15. Дефекты литья и способы их устранения.....	76
Глава 4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ И ОТДЕЛКА ОТЛИВОК	78
4.1. Литье из сплавов золота и серебра в условиях мастерских.....	78
4.2. Плавка и литье благородного белого золота.....	81
4.3. Литье с камнями.....	81
4.3.1. Ювелирные камни.....	81
4.3.2. Типы и формы огранки камней.....	81
4.3.3. Крапановая закрепка камней в восковую модель.....	82
4.3.4. Корнеровая закрепка камней в восковую модель.....	83
4.4. Копирование ювелирных изделий.....	85
4.5. Обработка поверхности отливок.....	86
4.5.1. Очистка травлением.....	86
4.5.2. Травление и очистка серебряных изделий.....	86
4.5.3. Голтование.....	86
4.5.4. Электрохимическое полирование.....	87
4.5.5. Ультразвуковая очистка.....	87

4.5.6. Химическая окраска золота.....	87	4.7.1. Самодельная электрическая плавильная печь.....	94
4.5.7. Крацевание	88	4.7.2. Схема изготовления самодельной хромель – алюмелевой термопары	94
4.5.8. Механическое полирование	88	4.7.3. Самодельная муфельная печь	95
4.5.9. Ручное полирование	89	4.7.4. Вулканизатор	95
4.6. Определение пробы благородных металлов и их сплавов	89	4.7.8. Самодельная вакуумная литейная установка.....	96
4.6.1. Качественные методы определения пробы	89	4.7.9. Самодельная универсальная горелка.....	96
4.6.2. Количественный метод определения пробы	90	4.8. Полезные сведения.....	98
4.6.3. Проба и клеймо на ювелирных изделиях	91	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	101
4.7. Как самому собрать литейное оборудование.....	94	СОДЕРЖАНИЕ	102

ББК 37.27

Н73

УДК 669.3: 676.1: 739

Халилов И.Х., Халилов М.И.

Ювелирное литье. – Махачкала

2000. – с. 103.

В книге приведены литейные и физико-механические свойства сплавов золота и серебра; описаны технологические процессы литья; даны информации о вспомогательных материалах, современных литейных оборудованьях для изготовления ювелирных изделий методом литья по выплавляемым моделям; рассмотрены процессы литья ювелирных изделий с вставленными в них драгоценными камнями.

Книга может служить практическим руководством для начинающих ювелиров литейщиков, а также учебником для художественных училищ, профтехучилищ для подготовки специалистов в области ювелирного и художественного литья. Она может быть полезна мастерам народных промыслов и художникам, работающим в области декоративно-прикладного искусства. В книге много полезной информации, как для начинающих, так и для опытных ювелиров-литейщиков.

© И.Х. Халилов, М.И. Халилов.

И. Х. Халилов, М. И. Халилов

Ювелирное литье

Сдано в набор 20.02.2000. подписано в печать 23.05.2000.
Формат 60x84 1/8. Усл. 12.09. Гарнитура Times. Зак. 340. Тираж 1000.
Отпечатано на базе полиграфической фирмы ООО "Дагполиграф"

