

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия
Кафедра технологии и оборудования литейного производства

ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ЛИТЬЯ

Часть 2. «Литье ювелирных изделий»

Конспект лекций

(для студентов дневной формы обучения
по направлению подготовки
6.050402 – «Литейное производство»)

Утверждено
на заседании кафедры ТОЛП
Протокол № 1
от 28 августа 2013г.

Краматорск 2013

Технология художественного литья. Часть 2. «Литье ювелирных изделий» - Конспект лекций (для студентов дневной формы обучения по направлению подготовки 6.050402 – «Литейное производство»). Сост. Н.Н. Федоров - Краматорск: ДГМА, 2013 - 165 с.

Учебное пособие рассчитано на подготовку будущих специалистов по специальности «Литейное производство черных и цветных металлов и сплавов», которые обучаются по специализации «Художественное и ювелирное литье». Представлены теоретические и практические данные о современных технологических процессах и оборудовании для изготовления ювелирных изделий методами литья.

Может быть полезно инженерно-техническим работникам предприятий ювелирной отрасли и ученым.

Составитель

Н.Н. Федоров, доцент

Отв. за выпуск

М.А. Турчанин, профессор

ДГМА. 84313, Краматорск, ул. Шкадинова, 72.

1 МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ ДЛЯ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Ювелирными изделиями называют предметы украшения человека и окружающей его обстановки, изготовленные с использованием благородных (драгоценных) металлов, драгоценных камней и других долговечных материалов при условии их высокохудожественной обработки.

Металлы, которые имеют высокую химическую стойкость и красивый внешний вид в ювелирных изделиях, получили название благородных. К благородным металлам относятся: золото (Au), серебро (Ag), платина (Pt), родий (Rh), иридий (Ir), рутений (Ru), осмий (Os).

Основными в ювелирном производстве являются три металла – золото, серебро, платина. Эти металлы отличаются уникальными свойствами – красивый внешний вид и цвет, природная мягкость и пластичность, долговечность, способность выглядеть благородно в полированном виде и сочетаться с драгоценными камнями. Именно эти металлы составляют основу сплавов, применяемых для изготовления литых ювелирных украшений.

К металлам платиновой группы (платиноидам) относят – палладий, родий, иридий, рутений, осмий. Для всех платиноидов характерен белый цвет с разницей в оттенках, высокая коррозионная стойкость и тугоплавкость.

Основная характеристика драгоценного металла, из которого изготовлено ювелирное украшение – его проба, обозначающая содержание непосредственно металла в данном сплаве.

На территории Украины все ювелирные изделия обязаны проходить государственный пробирный контроль, который проверяет пробу металла и подтверждает её соответствие ГОСТу, ставя на каждом изделии специальное клеймо. В Украине в качестве клейма выступает трезубец с цифирным обозначением пробы, кроме того, на каждом изделии ставится ещё и клеймо-именник производителя. С их помощью можно всегда выяснить – кем и когда украшение было изготовлено, и кто его проверял.

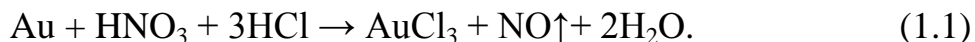
1.1 Золото и его сплавы

В Украине золото и его сплавы регламентируются межгосударственным ДСТУ ГОСТ 6835:2004 [1].

В настоящее время мировые запасы золота распределяются следующим образом: официальные резервы в банках и казначействах – 60%; частное накопление – 20%; драгоценности (ювелирные и художественные изделия), а также промышленная продукция – 20% [2]. Основная масса чистого золота в Украине расходуется в целях: получения сплавов, применяемых в ювелирном производстве; производства монет и медалей, зубных протезов, сусального золота и декоративных покрытий; для нужд электронной промышленности и приборостроения.

1.1.1 Свойства золота

Ценнейшее свойство золота — химическая стойкость. Золото не окисляется на воздухе даже при нагревании, устойчиво при воздействии на него влаги, не вступает в реакцию с кислотами, щелочами, солями. Растворяется золото в смеси соляной и азотной кислот (царской водке):



Также золото растворяется в ртути, образуя амальгаму. Золото склонно образовывать комплексные соединения, в которых валентность золота может равняться единице или трем.

На практике ювелирные изделия, изготовленные из сплавов 585-й и выше проб, не вызывают проблем с коррозией.

По внешнему виду чистое золото – ярко-желтый металл, имеющий хороший блеск, усиливающийся при полировке. Химический состав золота представлен в таблице 1.1, физические и механические свойства золота – в таблице 1.2 [2; 3].

Таблица 1.1 – Химический состав золота (ГОСТ 6835-2004)

Марка	Химический состав, мас. %						
	Au, не менее	примеси, не более					
		Pb	Fe	Sb	Bi	Cu	Ag
Зл 99,99	99,99	0,003	0,004	0,001	0,002	0,007	0,008
Зл 99,9	99,90	0,003	0,035	0,002	0,002	0,012	0,020

Таблица 1.2 – Свойства золота

Физические свойства		Механические свойства (техническая чистота)	
Плотность, г/см ³	19,32	Прочность в отоженном состоянии, МПа	120...130
Температура плавления, °С	1063	Твердость в отоженном состоянии НВ, ед.	18,5
Температура кипения, °С	2970	Относительное удлинение, %	30...50
Теплопроводность, Вт/(м·К)	310	Относительное сужение, %	90

Как видно из данных таблицы 1.2, золото – высокопластичный, мягкий, ковкий и тягучий металл. Из 1 г золота можно вытянуть проволоку длиной 3,5 км. Золото можно выковать так, что оно будет пропускать свет. Листы золота толщиной около 0,0001мм называются сусальным золотом.

1.1.2 Влияние легирующих элементов и примесей на свойства сплавов золота

Чистое золото является слишком мягким, поэтому в ювелирном производстве его не используют в самостоятельном виде. С целью повышения механических свойств золото легируют: серебром, медью, никелем, палладием, платиной, цинком, кадмием. Практически все легирующие элементы обеспечивают сплавам золота повышение прочности (рис. 1.1).

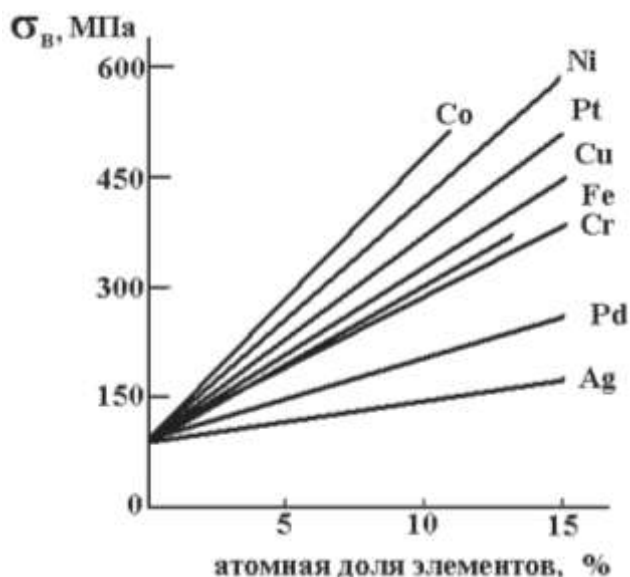


Рисунок 1.1 – Влияние различных металлов на прочность золотых сплавов

Рассмотрим влияние основных легирующих элементов на свойства сплавов золота [4].

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

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

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

Никель – повышает твердость, улучшает литейные свойства сплава, способствует приданию сплаву белого цвета.

Иридий – понижает температуру плавления сплава (сплав, состоящий из 75% золота и 25% иридия, является самым легкоплавким золотым припоём с температурой плавления 425°C).

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

Кадмий – понижает температуру плавления, повышает пластичность, ковкость и мягкость сплава, обеспечивает белый цвет.

Рассмотрим влияние примесей на свойства сплавов золота [4].

Алюминий — увеличивает прочность и склонность к потускнению сплавов с низким содержанием золота. При переплавке может образоваться окись алюминия Al_2O_3 , которая делает сплав не пригодным к обработке.

Свинец — в сплаве золота является наиболее вредной примесью. Даже в небольших количествах (например, 0,05%) делает золотые сплавы хрупкими и непригодными к обработке. Свинец не полностью растворяется в золоте и образует легкоплавкую интерметаллическую фазу Au_2Pb с температурой плавления $327^\circ C$. При нагреве сплава в процессе отжига или пайки изделий фаза Au_2Pb стремится собраться вокруг зерен кристаллической решетки и такой металл становится непригодным для пластической деформации вследствие повышенной хрупкости.

Олово — растворяется в сплавах $Au-Ag-Cu$ до 4%, не оказывая при этом на их свойства заметного влияния. С увеличением содержания олова более 4% образуется окись олова, которая при затвердевании располагается по границам зерен и делает сплав хрупким.

Железо — частицы железа, попавшие в сплава золота, содержатся в нем в виде инородных включений, которые не оказывают особого влияния при пластической деформации, однако значительно ухудшают обрабатываемость металла при обработке резанием и доводочных операциях. В связи с этим содержание железа в золотых сплавах не должно превышать 0,18%.

Кремний — может попасть в расплав из материала тигля, содержащего кварц. С золотом кремний образует эвтектику, которая плавится при температуре $370^\circ C$, что значительно ухудшает обрабатываемость сплава.

Фосфор и сера — с золотом не взаимодействует, однако сера активно реагирует с легирующими металлами — серебром, медью, никелем и металлами платиновой группы, а фосфор образует с легирующими металлами хрупкие соединения с низкоплавкой эвтектикой.

Газы — встречающиеся при плавке газы (O_2 , H_2 , N_2 , CO , CO_2 , SO_2 , H_2O) в чистом золоте не растворяются. При попадании в расплав они становятся причиной получения пористых слитков или могут образовывать химические соединения с легирующими элементами золотых сплавов, значительно снижая пластичность сплавов.

1.1.3 Сплавы золота различных проб

В ювелирном производстве в большинстве случаев используют трехкомпонентные сплавы системы золото-серебро-медь, которые могут содержать добавки никеля, палладия, цинка, кобальта, кадмия, бора.

Элементы, входящие в марку сплава золота, обозначают следующим образом: Зл — золото; Ср — серебро; Пл — платина; М — медь; Н — никель; Ц — цинк; Пд — палладий; Рд — родий; И — иридий; Кд — кадмий.

Цифры в золотых, золото-серебряных, золото-серебряно-медных, золото-медных сплавах указывают массовую долю золота и серебра в тысячных долях (пробах).

В соответствии с ГОСТ 6835-2004 «Золото и сплавы на его основе» наименование марок сплавов состоит из букв, обозначающих компоненты сплава, и следующих за ними цифр, указывающих номинальное содержание компонентов благородных металлов в сплаве в %. Например, сплав марки ЗлСрМ585-80 содержит: золото 58,5%, серебро 8,0%, медь – остальное (33,5%).

Золотые сплавы классифицируются по цвету и, в зависимости от оттенков, бывают желтые, красные, зеленые, белые, розовые и т.д. Для изменения или придания цвета сплаву с золотом могут быть добавлены в различных пропорциях никель, медь, цинк и серебро. Следует учитывать, что сплавы одного цвета могут иметь различное процентное содержание золота.

В ювелирном производстве наибольшее распространение получило желтое золото. Белое золото применяется реже, в основном, для ювелирных украшений со вставками из бриллиантов. Красное золото часто применяют для создания эффекта контраста с белым золотом. Зеленое золото применяют крайне редко, в основном, для придания ювелирному изделию эффекта старины.

Свойства сплавов основных ювелирных проб представлены в таблице 1.3 [2].

Таблица 1.3 – Свойства ювелирных сплавов золота

Цвет сплава	Состав, мас. %				Механические свойства			
	Au	Ag	Cu	Pd	интервал плавления, °С	НВ, МПа	σ_B , МПа	δ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сплавы 750-й пробы								
желтый	75	17	8	-	920-930	1000	460	44
розовый	75	12,5	12,5	-	900-920	1100	480	46
белый	75	5	-	20	1272-1280	1000	-	-
зеленый	75	25	-	-	1040-1045	1150	450	45
Сплавы 585-й пробы								
желто-зеленый	58,5	38,25	3,25	-	970-990	690	300	35
желтоватый	58,5	28,0	13,5	-	830-870	1180	510	33
желтый	58,5	18,75	22,75	-	810-850	1310	530	36
розовый	58,5	9,0	32,5	-	850-890	1140	510	44
Сплавы 375-й пробы								
-	37,5	2,0	60,5	-	966-986	-	-	-
-	37,5	10,0	52,5	-	926-940	-	-	-
-	37,5	16,0	46,5	-	882-901	-	-	-
-	37,5	17,0	48,5	3,8	850-975	-	-	-

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сплавы 333-й пробы								
бледно-желтый	33,3	53,4	13,3	-	870-790	1100	440	28
желтый	33,3	44,5	22,2	-	820-800	1100	470	24
средне-желтый	33,3	33,3	33,4	-	825-800	1150	480	25
оранжевый	33,3	20,0	46,7	-	900-800	1100	410	30
красный	33,3	9,5	57,2	-	950-860	1000	450	35

Самое широкое применение при изготовлении ювелирных изделий получили сплавы 585-й пробы. В Украине 585-я проба была введена взамен 583-й в 1989 г. и была приравнена в торговых и скупочных прејскурантах к 583-й пробе.

Сплавы золота 585-й и родственной ей 583-й пробы обладают хорошими технологическими свойствами, хорошей паяемостью, имеют красивый внешний вид, высокие механические и антикоррозионные свойства. По химической стойкости они относятся к группе растворимых в минеральных кислотах сплавов.

Наибольшее распространение получили сплавы 585-й пробы, состоящие из трех и более компонентов, которые кроме золота могут содержать в своем составе серебро, медь, никель, палладий, кадмий и цинк.

В зависимости от химического состава цвет сплавов 585-й пробы может значительно изменяться – от красного, желтого или зеленого до белого различной интенсивности и оттенков (табл. 1.3). Если сплав 585-й пробы содержит только серебро, он имеет некрасивый бледно-зеленый цвет и становится слишком мягким. При замене 6...12% серебра на медь сплав становится зеленым, при 20...30% – желтым, розовым – при небольшом количестве.

Наиболее широко в ювелирной промышленности применяется сплав ЗлСрМ585-80. По механическим и технологическим характеристикам этот сплав удовлетворяет требованиям ювелирного производства на всех технологических операциях и применяется для изготовления всех видов ювелирных изделий. Механические свойства этого сплава считаются эталонными для оценки всех материалов, применяемых в ювелирном производстве.

В ювелирной промышленности широкое распространение получили сплавы золота белого цвета, именуемые «белым» золотом, предназначенные для изготовления изделий с ограненными драгоценными камнями (бриллиантами и изумрудами). Золотой сплав приобретает белый цвет при добавлении палладия в количестве около 16%, а также никеля и цинка, например, сплав ЗлСрПдН750-90-140 и ЗлСрПдН750-70-140.

Для получения ювелирных изделий методами точного литья используют литейные сплавы белого золота системы Au-Cu-Ni-Zn (табл. 1.4) [2].

Таблица 1.4 – Литейные сплавы белого золота

Марка сплава	Состав, мас. %				
	Au	Cu	Ni	Zn	прочие
ЗлМНЦ750-15-7,5	75	15	7,5	2,5	-
ЗлМНЦ750-12,5-10	75	12,5	10	2,5	-
ЗлМНЦ583-25-12,5	58,3	25	12,5	4,2	-
ЗлМНЦ583-16-17	58,3	16,2	17	8,5	-
ЗлМНЦ583-22-15	58,3	22	14,7	4,8	0,2 Mn

Из «белых» сплавов золота в ювелирном литье наиболее широкое распространение получил сплав 750-й пробы ЗлМНЦ750-12,5-10. Химический состав данного сплава приведен в табл. 1.4; допустимыми примесями являются Pb, Sb, Bi в количестве не более 0,005% каждая и Fe в количестве не более 0,1%.

1.2 Серебро и его сплавы

По оценкам экспертов в области металлов к концу XX в. в мире накоплено около 640 тыс. т серебра. Мировые запасы серебра распределяются следующим образом: ювелирные и декоративные изделия, столовое серебро и предметы религиозного культа – 85%; серебряные слитки – 8%; в виде монет и медалей – 7%. В настоящее время более 70% серебра расходуется на промышленные цели: в фотоматериалах, в электротехнике, электронике, радиотехнике и связанных с ними отраслях машиностроения. Большое количество серебра также используется в химической отрасли и для изготовления припоев [2].

1.2.1 Свойства серебра

В Украине серебро и его сплавы регламентируются межгосударственным ДСТУ ГОСТ 6836:2004 [5].

Серебро – металл белого цвета, пластичный, ковкий, очень тягучий. По мягкости оно стоит между золотом и медью. Обладает наивысшей тепло- и электропроводностью, а также наивысшей отражательной способностью, полируемостью и блеском. Путем прокатки из него можно получить листы толщиной до 0,00025 мм. Серебро очень устойчиво к действию влажной среды. Темнеет при соединении с сероводородом. Окисляется также под действием озона, покрываясь черным налетом. Серебро легко растворяется в азотной кислоте и взаимодействует с цианидами щелочных металлов.

Химический состав серебра представлен в таблице 1.5, физические и механические свойства серебра – в таблице 1.6 [3].

Таблица 1.5 – Химический состав серебра (ГОСТ 6836-2004)

Марка	Химический состав, мас. %						
	Ag, не более	примеси, не более					
		Pb	Fe	Sb	Bi	Cu	Всего
Ср 99,99	99,99	0,003	0,004	0,001	0,002	0,008	0,01
Ср 99,9	99,90	0,003	0,035	0,002	0,002	0,015	0,10

Таблица 1.6 – Свойства серебра

Физические свойства		Механические свойства (техническая чистота)	
Плотность, г/см ³	10,49	Прочность в отожженном состоянии, МПа	140...160
Температура плавления, °С	960	Твердость в отожженном состоянии (НВ), ед.	24...26
Температура кипения, °С	2210	Относительное удлинение, %	50...60
Теплопроводность, Вт/(м·К)	454	Относительное сужение, %	80...95

Серебро тверже золота, но мягче меди. Вследствие мягкости чистое серебро (табл.1.5) употребляется в виде сплава с медью, а в древности – также и виде природного сплава с золотом – электрума. В настоящее время серебро является обязательным компонентом сплавов основных ювелирных проб золота. Растворяясь в золотом сплаве, серебро придает ему пластичность, блеск и облегчает пайку, однако изменяет цвет сплава и значительно повышает его цену.

1.2.2 Влияние легирующих элементов и примесей на свойства сплавов серебра

Ювелирные сплавы серебра – это двухкомпонентные сплавы системы серебро-медь.

Медь – с повышением содержания меди до 28 % прочность и твердость сплавов системы Ag-Cu повышается, а пластичность снижается. Медь влияет на цвет серебра, придавая ему оттенки желтого и красного цвета. Например, сплав серебра с 50% меди имеет красноватый оттенок, а с 70% меди – красный цвет.

Добавки в сплав Ag-Cu других металлов позволяют существенно изменить его свойства. Рассмотрим влияние легирующих элементов на свойства сплавов серебра [2, 4].

Золото — сплавы системы Ag-Au обладают высокими литейными свойствами и стойкостью к окислению. Сплавы серебра с медью являются высокопластичными с показателем относительного удлинения 40...45%, что позволяет прокатывать эти сплавы в фольгу толщиной $1...1,25 \cdot 10^{-4}$ мм.

Никель — при содержании никеля до 1% замедляется рост зерна, следовательно, повышается прочность сплава серебра. При содержании никеля до 2,5% ухудшается обрабатываемость сплава. При содержании никеля более

2,5%, он теряет способность растворяться в сплаве и становится вредной примесью, сплав становится ломким.

Железо — является всегда нежелательной примесью в сплавах серебра. Железо не растворяется в серебре и присутствует в его сплавах в виде чужеродных частиц, ухудшающих обрабатываемость сплава в ходе шлифовально-полировальных операций.

Свинец — придает сплавам серебра хрупкость при нагреве. Серебро со свинцом уже при температуре 304°C образуют эвтектику, расположенную по границам зерен, которая обеспечивает сплаву свойство краснотекучести. Исходя из этого, на практике содержание свинца в сплавах серебра не должно превышать 0,005%.

Олово — незначительное количество снижает температуру плавления сплава. Чистое серебро может растворить в себе до 19% олова. Если в сплаве Ag-Cu содержание олова превысит 9%, то образуется хрупкое интерметаллическое соединение Cu_4Sn . Олово при плавлении окисляется, и хрупкость сплава возрастает из-за образования оксида SnO_2 .

Алюминий — до 5% растворяется в твердом сплаве, однако при более высоком содержании алюминия образуется хрупкое соединение Ag_3Al . При отжиге и плавке образуется также соединение Al_2O_3 , которое, располагаясь по границам зерен, делает сплав хрупким и ломким.

Цинк — имеет предельную растворимость в серебре до 20%, однако, на практике содержание цинка в серебре не должно превышать 14%. В этом случае сплавы серебра не тускнеют на воздухе, имеют высокую пластичность и хорошо полируются.

Кадмий — предельно растворим в серебре до 30%. Сплавы серебра с кадмием пластичны, устойчивы против атмосферной коррозии, не тускнеют и хорошо обрабатываются.

Цинк и кадмий — также являются важнейшими присадками для получения припоев на основе серебра, снижающих температуру плавления.

Кремний — растворяется в серебре до 1,5%. При большем содержании, избыток кремния располагается по границам зерен в виде эвтектики с температурой плавления 830°C, при этом сплав становится очень хрупким и полностью непригодным для обработки пластической деформацией. Основным источником кремния в ювелирных сплавах — кварц, служащий материалом для изготовления плавильных тиглей.

Углерод (графит) — не реагирует с серебром и не растворяется в нем. Располагается по границам зерен, делая сплав серебра очень хрупким.

Фосфор и сера — образуют с серебром и медью твердые соединения, которые могут располагаться как по границам зерен, так и внутри них. Сплавы от этого становятся хрупкими, быстро тускнеют, на них плохо ложатся гальванические покрытия. При плавке (газовой или бензиновой) горелкой двуокись серы поглощается сплавом, а при последующем затвердевании выделяется, делая сплав пористым, кроме этого на границах зерен образуются соединения Cu_2S и Ag_2S . Источниками попадания серы в сплавы могут быть содержащие серу исходные материалы, горючий газ, остатки травильных

растворов. Незначительные следы фосфора делают сплав красноломким и быстротускнеющим. Фосфор может попасть в сплав при раскислении расплава фосфористой медью, когда она полностью не расходуется для целей удаления окислов меди.

1.2.3 Сплавы серебра различных проб

В ювелирном производстве используется как чистое серебро, так и его сплавы с медью.

Согласно ГОСТ 6836-2004 для ювелирных и бытовых изделий применяют следующие сплавы серебра: 800, 830, 875, 925, 950-й проб (табл. 1.7) [5]. Маркируются сплавы серебра буквами, обозначающими компоненты сплава, и следующими за ними цифрами, указывающими номинальное содержание компонентов благородных металлов в сплаве в %.

Таблица 1.7 – Химический состав и свойства ювелирных сплавов серебра

Марка	Проба	Состав, %		Содержание примесей, не более %						Плотность, г/см ³	Интервал плавления, °С
		Ag	Cu	Pb	Fe	Sb	Bi	O	всего		
СрМ 800	800	80,0- 80,5	остальное	0,005	0,13	0,002	0,002	0,01	0,15	10,13	779...810
СрМ 830	830	83,0- 83,5								10,19	779...830
СрМ 875	875	87,5- 88,0		0,004	0,10				0,12	10,28	779...855
СрМ 925	925	92,5- 93,0								10,36	779...896
СрМ 950	950	95,0- 95,5								10,43	880...930

Механические свойства серебряно-медных сплавов существенно зависят от содержания в них меди. Так, с увеличением концентрации меди с 5% (СрМ 950) до 20% (СрМ 800) прочность повышается на 30%, а твердость на 60% при одновременном снижении пластичности.

Сплав **СрМ 950** - очень схож с чистым серебром, чаще используется для чернения и изготовления изделий с эмалью (прозрачные эмалевые краски просвечиваются более интенсивно), особенно подходит для пластической деформации, глубокой вытяжки и исполнения тонких филигранных работ. Учитывая склонность сплава к старению, его после отжига подвергают закалке. Недостаток сплава заключается в невысоких механических свойствах: изделия, изготовленные из этого сплава, при эксплуатации деформируются.

Сплав **СрМ 925** - называют «стерлинговым» или «стандартным» серебром. Из-за высокого содержания серебра в сплаве и высоких механических свойств этот сплав нашел широкое распространение во многих странах. Цвет данного сплава аналогичен сплаву серебра 950-й пробы, однако меха-

нические свойства выше. Сплав подходит для получения черни, возможно использование для нанесения низкотемпературных эмалей. В сплаве сочетаются хорошая способность к формоизменению при обработке и стабильность при эксплуатации. Чтобы предотвратить старение, сплав после отжига подвергают закалке. Сплав **СрМ 925** является старейшим ювелирным сплавом, широко используемым также в монетном и медальном производстве.

Сплав **СрМ 875** - подходит для литья ювелирных изделий, гибки, пайки,ковки и чеканки, но для тонких филигранных операций и глубокой чеканки практически не подходит из-за высокой твердости. Также является непригодным в качестве основы для нанесения эмалей.

Сплав **СрМ 830** – чаще других используется при промышленном изготовлении ювелирных изделий методами литья. Сплав обладает значительной твердостью, следовательно, труднее подвергается механической обработке.

Сплав **СрМ 800** – дешевле вышеописанных сплавов, но имеет заметную желтоватую окраску и малую стойкость на воздухе. Пластичность этого сплава значительно ниже, чем у сплава 925-й пробы, литейные свойства выше, чем у сплавов с более высоким содержанием серебра.

В ювелирном производстве применяются сплавы с содержанием серебра свыше 72% (доэвтектические). Сплавы серебра с содержанием серебра менее 72% (эвтектические и заэвтектические, например **СрМ 720**) в ювелирном деле практически не используются.

1.3 Платина и ее сплавы

В Украине платина и ее сплавы регламентируются межгосударственным ГОСТ 13498-2010 [6].

По данным [7] мировое потребление платины в 2011г. распределилось следующим образом: автомобилестроение – 38%; ювелирная промышленность – 31%; стекольная промышленность – 7%; химическая промышленность – 6%; инвестиционный спрос – 6%; нефтепереработка, медицина, электроника – по 3%; прочее – 4%. Общее потребление платины в мире в 2011 г. составило 252 тонны.

Как видно из приведенных выше данных, в настоящее время около 1/3 добываемой в мире платины используют для получения ювелирных украшений – в виде сплавов платины с золотом, иридием, палладием и осмием. Ювелирные изделия из платины содержат металл чистотой 90...95% [2; 3]. Из платины изготавливают оправы для бриллиантов и дорогие ювелирные украшения – браслеты, серьги и т.п.

Для работы с платиной и ее сплавами необходимы особые условия и специальное плавно-разливочное оборудование, способное работать при высоких температурах, а также тщательная полировка.

1.3.1 Свойства платины

Платина — тяжелый тугоплавкий серовато-белый металл. Природная окраска платины делает ее внешне похожей на белое золото, что эффектно подчеркивает красоту бриллиантов, их прозрачность и блеск.

Платина - очень тягучий, достаточно ковкий, тверже золота и серебра металл, хорошо обрабатывается давлением, прокатывается в тончайшие листы толщиной до 0,00025 мм и вытягивается в тончайшую проволоку толщиной до 0,001 мм.

Платина никогда не тускнеет и не вызывает аллергии. Устойчива к влажной среде. При обычных условиях не реагирует с Cl_2 , S, O_2 . Это один из наиболее устойчивых в химическом отношении металлов. Только горячая «царская водка» способна растворить платину:



При растворении платины образуется гексахлороплатиновая кислота $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$, которая при выпаривании раствора выделяется в виде красно-бурых кристаллов состава $\text{H}_2[\text{PtCl}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Физические и механические свойства платины представлены в таблице 1.8 [2; 3].

Таблица 1.8 – Свойства платины

Физические свойства		Механические свойства (техническая чистота)	
Плотность, г/см ³	21,37	Прочность в отожженном состоянии, МПа	120...160
Температура плавления, °С	1772	Твердость в отожженном состоянии (НВ), ед.	30...56
Температура кипения, °С	4410	Относительное удлинение, %	40...50
Теплопроводность, Вт/(м·К)	73,7	Относительное сужение, %	95...100

Из-за высокой химической стойкости, высокой температуры плавления, платину также используют в химическом производстве, в производстве радиодеталей и спецтехнике. Платину также применяют в составе катализаторов для нефтеперерабатывающей промышленности, установках для дожигания топлива, плазмотронах, в составе элементов термосопротивлений и в термопарах.

1.3.2 Влияние легирующих элементов и примесей на свойства сплавов серебра

В чистом виде платина не применяется в виду повышенной природной мягкости и пластичности, поэтому ювелирные сплавы платины легируют: иридием, палладием, родием, медью и другими металлами [2; 3].

Иридий — резко повышает твердость и прочность сплава платины. Сплавы системы Pt-Ir являются химически устойчивыми по сравнению с другими сплавами платины, особенно по отношению к кислотам.

Палладий — снижает температуру плавления, повышает пластичность, улучшает ковкость и обрабатываемость сплавов платины.

Кобальт — является раскислителем сплава платины в процессе плавки, повышает текучесть и литейные свойства, обеспечивает хорошую конечную твердость. Кобальт придает сплавам платины голубоватый оттенок.

Медь — сплавы платины с медью также можно отливать, однако поверхности литья в этом случае будут иметь склонность к повышенной шероховатости и их труднее полировать, по сравнению с литыми сплавами платины, легированными кобальтом.

Сплавы платины являются весьма чувствительными к присутствию примесей и инородных включений, которые при нагреве могут взаимодействовать с основой сплава с образованием легкоплавких соединений, что может провоцировать хрупкое разрушение. Рассмотрим влияние примесей на свойства платины.

Кремний — в сплавах платины образует легкоплавкую эвтектику с температурой плавления 830°C, что делает их красноломкими, хрупкими и непригодными к обработке.

Алюминий — аналогично кремнию вызывает красноломкость сплавов платины, образуя с ней хрупкое соединение с температурой плавления 787°C, располагающееся по границам зерен. Следовательно, при плавке платины и ее сплавов нельзя использовать тигли, содержащие Al_2O_3 , а также графитовые, необходимо применять тигли из чистой обожженной извести (CaO).

Углерод — имеет значительную растворимость в расплавленной платине и незначительную растворимость в твердой платине. При затвердевании платины углерод выделяется из раствора в виде графита чаще всего в виде игольчатой формы, что отрицательно сказывается на пластичности платины при ее пластической деформации.

Сера и фосфор — образуют с платиной легкоплавкие соединения PtS_2 , Pt_2P_7 , PtP_2 , делая сплавы платины красноломкими.

Газы — заметного действия на сплавы платины не оказывают, однако, попадая в расплав, они растворяются и удерживаются в нем и, при последующем затвердевании образуют поры и раковины.

1.3.3 Сплавы платины различных проб

В отечественном ювелирном производстве широкое распространение получили сплавы платины базовой системы платина-иридий, например сплав ПЛИ5, содержащий 95% платины и 5% иридия соответственно. С повышением содержания иридия температура плавления сплавов повышается. Все сплавы системы Pt-Ir имеют узкий интервал кристаллизации.

При изготовлении ювелирных изделий хорошо зарекомендовал себя сплав платины следующего состава: 95% Pt; 4,5% Pd; 0,5% Ir [3].

Химический состав и свойства сплавов на основе платины, применяемых для изготовления ювелирных изделий (браслеты, кольцо, филигранные серьги, кулоны, броши, обручальные кольца, цепочки), представлены в таблице 1.9 [2].

Таблица 1.9 – Химический состав и свойства сплавов на основе платины

Марка	Проба	Состав, мас. %					Расчетная плотность, г/см ³	Темпер. интервал плавления, °С
		Pt	Ir	Pd	Rh	Cu		
ПлИ 900-100	900	90,0-90,5	ост.	-	-	-	21,54	1790-1800
ПлМ 900		90,0-90,5	-	-	-	ост.	18,82	1650-1700
ПлИ 950-50	950	95,0-95,5	ост.	-	-	-	21,50	1790-1800
ПлПд 950-50		95,0-95,5	-	ост.	-	-	20,66	1700-1750
ПлРд 950-50		95,0-95,5	-	-	ост.	-	20,70	1800-1825
ПлМ 950		95,0-95,5	-	-	-	ост.	20,05	1700-1730

Приведенные в таблице 1.9 ювелирные сплавы платины отличаются белым цветом с ярко выраженным блеском и могут быть применены для операций литья и всех видов холодной пластической обработки, кроме сплавов ПлПд 950-50 и ПлРд 950-50, которые имеют ограниченное применение для литья.

1.4 Пробирный анализ и клеймение ювелирных изделий

В ювелирном производстве применяют сплавы с определенным содержанием благородного (драгоценного) металла – пробы. Проба является важнейшей характеристикой ювелирного изделия и обозначает количественное содержание драгоценного металла в данном сплаве (изделии).

Средством контроля для готовых изделий является пробирное клеймо, которое указывает на пробу сплава и ставится на каждое изделие, выпускаемое государственными предприятиями. В Украине проба сплава ювелирного изделия удостоверяется клеймом Государственной пробирной службы Украины. Клеймение изделий из благородных металлов производится на основании результатов их пробирного анализа на пробирном камне и контрольного анализа.

Государственная пробирная служба Украины при клеймении ювелирных изделий пользуется государственными пробирными клеймами установленного образца. По своему назначению клейма делятся на основные и дополнительные. Основные пробирные клейма удостоверяют соответствие изделия требованиям пробирной службы.

С 1994 г. на территории Украины для клеймения изделий из драгоценных металлов были введены основные и дополнительные пробирные клейма (табл. 1.10) [8].

Таблица 1.10 – Государственные пробирные клейма Украины, введенные с 1994 г.

Назначение пробирных клейм	Знак удостоверения	Основные клейма	Дополнительные клейма
изделия из золота проб: 375, 500, 585, 750			
изделия из серебра проб: 800, 830, 875, 925, 960			
изделия из платины проб: 950			
изделия из палладия проб: 500, 850			

Все ювелирные изделия из драгоценных металлов, предъявляемые в Государственную пробирную службу Украины для клеймения, должны иметь оттиск знака именника предприятия. Именник представляет собой заключенное в прямоугольную рамку (может быть с острием с правой стороны в виде стрелки) сочетание цифр и букв сокращенного названия предприятия-изготовителя и года выпуска изделия (табл. 1.11). Пробирное клеймо ставится справа от именника.

Таблица 1.11 – Система обозначений и форма именников предприятий – изготовителей ювелирных и бытовых изделий из драгоценных металлов в Украине

Год	Шифр именника	Год	Шифр именника	Год	Шифр именника
1	2	3	4	5	6
2000	0XXX	2010	XXX0	2020	XXX0:
2001	1XXX	2011	XXX1	2021	XXX1:
2002	2XXX	2012	XXX2	2022	XXX2:
2003	3XXX	2013	XXX3	2023	XXX3:

Продолжение таблицы 1.11

1	2	3	4	5	6
2004	4XXX	2014	XXX4	2024	XXX4:
2005	5XXX	2015	XXX5	2025	XXX5:
2006	6XXX	2016	XXX6	2026	XXX6:
2007	7XXX	2017	XXX7	2027	XXX7:
2008	8XXX	2018	XXX8	2028	XXX8:
2009	9XXX	2019	XXX9	2029	XXX9:

В представленных в таблице 1.11 шифрах именников содержатся следующие условные обозначения: цифры 0 – 9 обозначают год в десятилетии (с 2000 по 2009 гг. – цифра слева, с 2010 по 2019 гг. – цифра справа соответственно); цифры 0: – 9: обозначают год в десятилетии (с 2020 по 2029 гг. – цифра с двоеточием справа); XXX – индивидуальные знаки (шифры) изготовителя. Первым знаком в обозначении XXX является шифр области Украины, в которой зарегистрирован производитель: А – Автономная республика Крым, Б – Волынская, В – Винницкая, Г – Донецкая, Д – Днепропетровская, Ж – Житомирская, З – Запорожская, У – Закарпатская, И – Ивано-Франковская, К – Киевская, Е – Кировоградская, Л – Львовская, Н – Луганская, М – Николаевская, О – Одесская, П – Полтавская, Р – Ровенская, С – Сумская, Т – Тернопольская, Х – Харьковская, Ш – Херсонская, Ё – Хмельницкая, Ч – Черкасская, Я – Черновицкая, Ы – Черниговская.

Пример обозначения именника ПАО «Киевский ювелирный завод» представлен на рисунке 1.2.



а – для использования в 2005 г.; б – для использования в 2015 г.

Рисунок 1.2 – Именник ПАО «Киевский ювелирный завод», г. Киев

Все ювелирные изделия, выпускаемые государственными предприятиями, подвергаются пробирному клеймению. Инспекции Государственной пробирной службы Украины перед клеймением пробируют на содержание драгоценных металлов согласно правилам определенную выборку ювелирных изделий, применяя при этом как неразрушающие, так и разрушающие методы анализа. После положительного результата ювелирное изделие снабжают соответствующим клеймом.

Таким образом, при определении пробы благородных сплавов должен быть дан ответ на следующие вопросы:

1) идет ли вообще речь о драгоценном металле или о сплаве, содержащем драгоценный металл? (определение качественной пробы);

2) насколько велика доля драгоценного металла в общем сплаве? (определение количественной пробы).

Наиболее распространенным является метод неразрушающего контроля – с помощью пробирного камня (способ приближенного определения пробы). Для более точного определения пробы изделия подвергают пробирно-химическому анализу, основанному на выделении из навески сплава чистого драгоценного металла, по массе которого определяют количество драгоценного металла в сплаве – при этом способе целостность изделия нарушается.

В пробирном неразрушающем анализе используют следующую оснастку и реактивы:

1. **Пробирный камень** - черный кремень (сланец) к которому предъявляются следующие требования:

- наличие цельной матовой отшлифованной поверхности;
- наличие черного цвета;
- наличие однородной мелкозернистой поверхности;
- наличие лишенной пор структуры;
- должен быть тверже исследуемого металла;
- должен обладать стойкостью против действия азотной, серной, соляной кислот и их смесей.

2. **Пробирные иглы** – полоски драгоценных сплавов, припаянные к латунным пластинкам с обозначением проб данных игл. Для каждой пробы существует комплект игл, различающихся по цвету вследствие разницы в содержании легирующих металлов. В комплект пробирных игл для пробирования каждого вида драгоценного металла (золото, серебро, платина) должны входить иглы каждого стандартного сплава и иглы контрольных промежуточных проб.

3. **Пробирные реактивы (кислоты)** – это водные растворы кислот, смесей кислот или растворы солей, с помощью которых опробуют поверхность испытуемого металла. Действие пробирных кислот проявляется следующим образом:

- если исследуемый сплав выше предполагаемой пробы, то реактив не оставляет никакого следа;
- если исследуемый сплав соответствует предполагаемой пробе, то реактив оставляет слегка заметный глазу след;
- если исследуемый сплав ниже предполагаемой пробы, то реактив оставляет «ожог» (темное пятно), интенсивность которого зависит от разницы в пробах.

Наиболее универсальным, доступным и дешевым реактивом для золотых сплавов является азотная кислота (с незначительным добавлением соляной), реагирующая на все золотые сплавы (табл. 1.12) [2].

Таблица 1.12 – Пробирные кислотные реактивы для золота

Проба золота	Состав пробирного реактива, %		
	HNO ₃ (плотностью 1,40)	HCl (плотностью 1,19)	дистиллированная вода
375	59,5	-	40,5
500	100,0	-	-
585 (583)	46,0	4 капли	54,0
750	59,3	1,1	39,6
833	68,7	1,3	30,0
900	69,2	1,3	29,5
958	78,7	2,0	19,3

Рассмотрим пример определения качественной пробы сплава золота 585-й пробы с помощью пробирного камня [2; 4].

Перед опробованием пробирный камень слегка смазывают маслом, например, ореховым и насухо протирают. Далее, с помощью напильника удаляют в каком-либо незаметном месте изделия возможно имеющееся покрытие. Затем зачищенным местом испытуемого золотого изделия на пробирном камне выполняют штрих шириной 2...3 мм и длиной 15...20 мм. Рядом выполняют штрихи сходных по цвету пробирных игл. Затем стеклянной палочкой, смоченной в пробирной кислоте для 585-й пробы, наносят мокрую черту, пересекающую сделанные штрихи. Через 15...20 с реактив высушивают фильтровальной бумагой и оценивают действие пробирной кислоты на штрихи, сравнивая оттенки испытуемого металла и пробирных игл, и устанавливают соответствие пробы. При этом возможны следующие варианты действия пробирной кислоты для 585-й пробы на штрих исследуемого сплава:

- если штриховая проба под действием пробирной кислоты для золота 585-й пробы растворяется без остатка, значит, испытуемый металл может быть сплавом золота ниже 333-й пробы, сплавом серебро-медь с содержанием серебра ниже 500-й пробы или недорогим сплавом (на сплавах, не содержащих золота, реакция протекает мгновенно, с выделением зеленой пены и шипением);

- если штриховая проба окрашивается в коричневый цвет с выделением пузырьков, то исследуемый сплав – может быть сплавом золота от 333-й до 500-й пробы;

- если кислота для золота 585-й пробы совсем не действует на штрих, то сплав золота выше 500-й пробы.

Для более точного установления пробы металла оценивают влияние данного пробирного реактива на штрихи, полученные пробирными иглами известных проб, и сравнивают с исследуемым штрихом. Точность определения квалифицированным пробирером по данному методу составляет до 2 единиц.

Также применяется ускоренный капельный способ опробования драгоценных металлов, заключающийся в том, что на зачищенное и подготовленное место на поверхности исследуемого изделия наносят каплю реактива. Через 15...20 с каплю высушивают фильтровальной бумагой и по реакции сплава на реактив определяют пробу. Капельный метод является быстрым, однако он менее точен по сравнению с методом опробования на пробирном камне, поскольку, в этом случае, оценщику приходится сравнивать реакцию испытуемого сплава не с пробирными иглами, а со своим субъективным ощущением (цветовая память на реакции). Точность определения квалифицированным приемщиком по данному методу составляет до 20...30 единиц.

Качественный химический анализ применяется, если сплав реагирует при штриховой пробе как недорогоценный цветной сплав, но предполагается, что он содержит незначительное количество золота. Качественный метод основан на растворимости легирующих металлов и устойчивости золота в подогретой концентрированной азотной кислоте. С этой целью в пробирке растворяют 0,5 г испытуемого сплава. Все недорогоценные компоненты сплава растворяются, а золото осаждается в виде темно-коричневого порошка на дно. В дальнейшем осадок фильтруют, промывают и сушат: если полученный порошок спрессовать, потереть напильником, и он приобретет блеск, то данный металл является золотом.

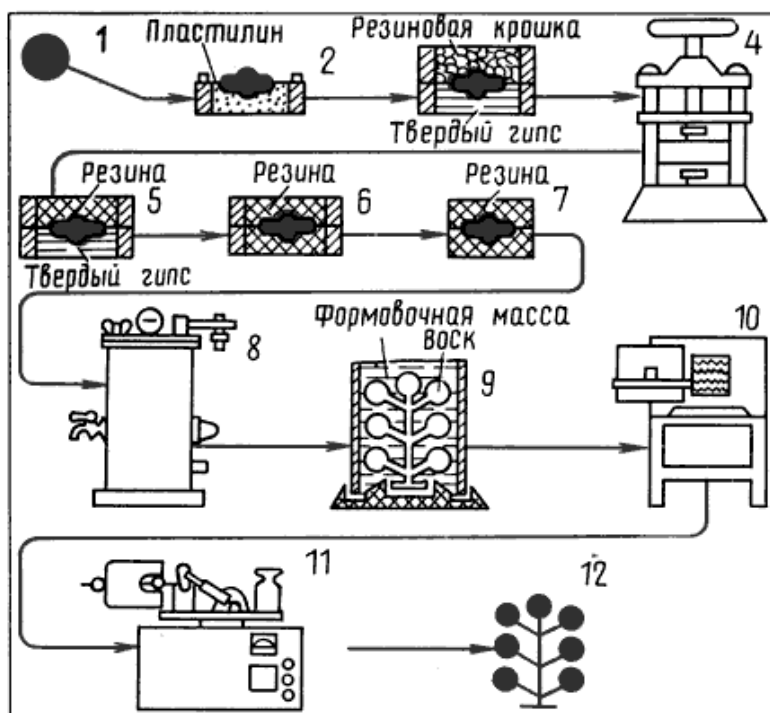
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЮВЕЛИРНОГО ЛИТЬЯ

2.1 Общая схема технологического процесса литья ювелирных изделий

В настоящее время наиболее распространенным способом получения ювелирных изделий (отдельных элементов изделий) является литье по выплавляемым моделям. Этот метод позволяет серийно изготавливать изделия сложной конфигурации с тонким рельефом, обеспечивая при этом требуемую высокую точность с отклонениями от заданного размера не более 0,5 % и чистотой поверхности 5...6 классов. Это обеспечивает возможность использования ювелирных отливок в качестве готовых элементов ювелирных изделий без дополнительной механической обработки.

Основные этапы изготовления элементов ювелирных изделий методом литья по выплавляемым моделям представлены на рисунке 2.1.

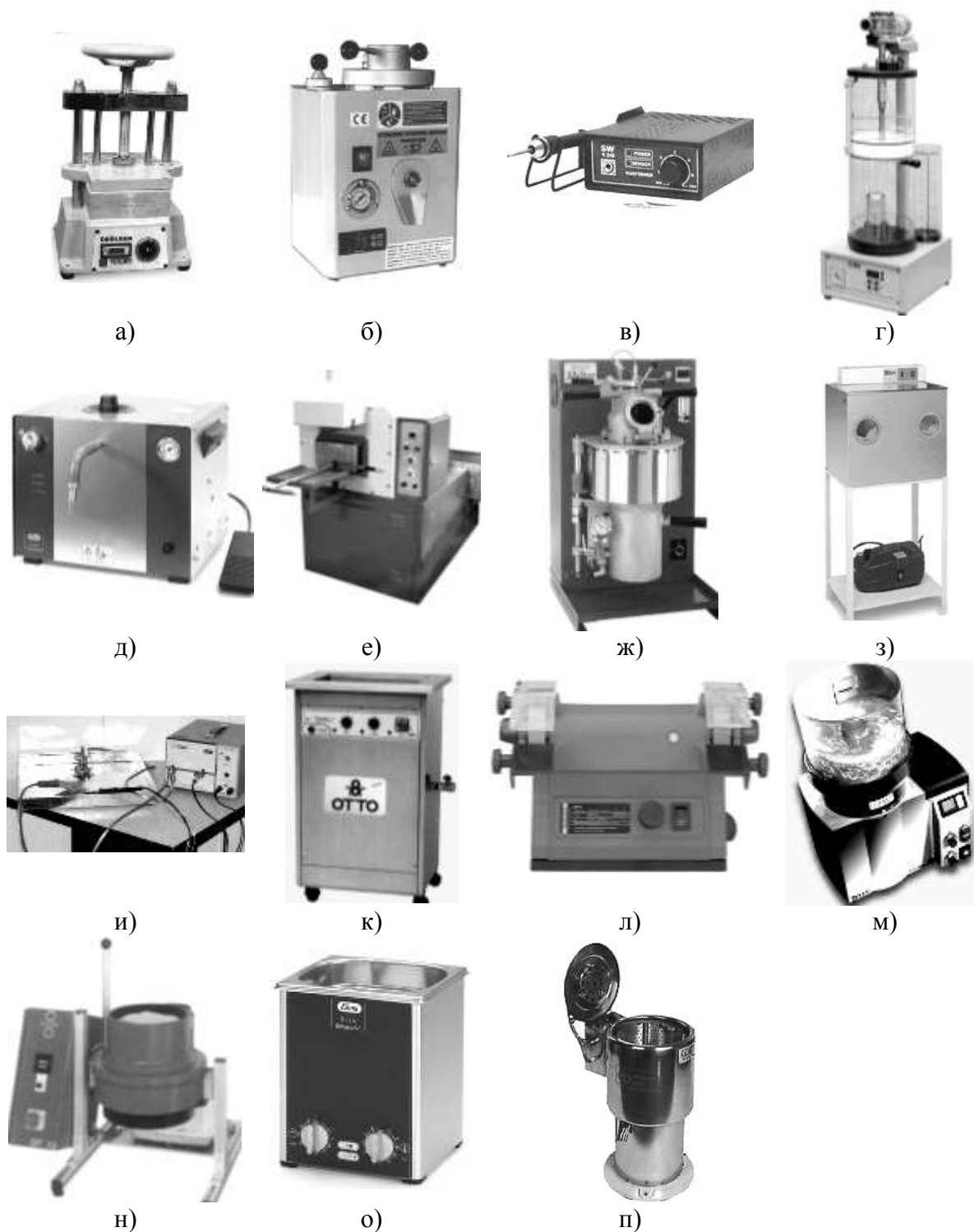
Технологический процесс ювелирного литья является многооперационным и требует использования различных расходных материалов и разнообразного специализированного оборудования (рис. 2.2).



1 - изготовление мастер-модели; 2-7 - изготовление резиновой пресс-формы; 8 - изготовление восковой модели; 9, 10 - изготовление и подготовка литейной формы; 11 - операции плавки сплава и литья ювелирных изделий;

12 - финишные операции обработки отливок

Рисунок 2.1 - Схема технологического процесса литья ювелирных изделий по выплавляемым моделям



а – вулканизаторы резины; б – инжекторы воска; в – паяльники для монтажа «елочек»; г – вибровакuumные смесители; д – паровые воскотопки; е – печи для прокалики форм; ж – установки для плавки и литья; з – установки для гидро-выбивки; и – оборудование для резки «елочек»; к – ванны для отбеливания; л – станки полировальные; м – галтовки магнитные; н – галтовки барабанные; о – ванны для очистки; п – установки для сушки

Рисунок 2.2 – Технологическое оборудования для получения литых ювелирных изделий

Технология ювелирного литья по выплавляемым моделям в настоящее время крайне популярна в условиях небольших ювелирных предприятий. Применяемое технологическое оборудование является не сложным по конструкции, не большим по габаритным размерам и может быть смонтировано в небольшом производственном помещении площадью 20...25 м². При этом даже мелкие ювелирные фирмы, не имеющие в своем составе высококвалифицированных ювелиров-модельеров, методом заимствования опыта и использования готовых резиновых форм, могут изготавливать высокохудожественные изделия и, таким образом, удовлетворять спрос потребителей.

2.2 Мастер модели и их изготовление

Необходимой предварительной стадией технологического процесса литья по выплавляемым моделям является изготовление мастер-модели (образца-эталона). С помощью мастер-модели изготавливают резиновую пресс-форму, предназначенную для получения восковых выплавляемых моделей ювелирных изделий – «восковок».

Разрабатывают и изготавливают модели (мастер-модели), как правило, высококвалифицированные ювелиры. На специализированных ювелирных предприятиях модели разрабатывают дизайнеры-модельеры. Ювелир-модельер вручную изготавливает из специального резьбового модельного воска мастер-модель по дизайнерскому эскизу.

Дизайн модели представляет собой момент создания, рождения идеи нового ювелирного продукта. Известный ювелирный дизайнер Лоуренс Калленберг в своем труде [9] подробно изложил принципы ювелирного дизайна и дал практические рекомендации по эскизному проектированию ювелирных изделий.

Несмотря на современные технологии, позволяющие отливать самые сложные формы, дизайнеру-модельеру необходимо иметь хорошее представление о технологических процессах ювелирного литья, о технологичности конструкции ювелирных отливок.

В качественном плане мастер-модель должна быть выполнена идеально, без дефектов, поскольку любой поверхностный дефект воспроизведется в резиновой пресс-форме и, в свою очередь, в восковке, в полости формы и, в конечном итоге, в отливках.

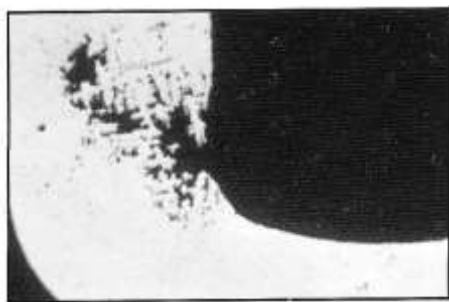
Мастер-модель должна быть изготовлена из сплава с достаточно высокой степенью твердости: это позволит легче выполнить окончательную отделку мастер-модели, повысит ее износостойкость, что особенно актуально при изготовлении мастер-модели изделия, пользующегося большим спросом, т.е. когда необходимо будет использовать мастер-модель для изготовления большого количества резиновых пресс-форм.

Наиболее часто для изготовления мастер-моделей применяют медно-никелевый сплав – нейзильбер (50% никеля, 30% меди, 20% цинка). На гото-

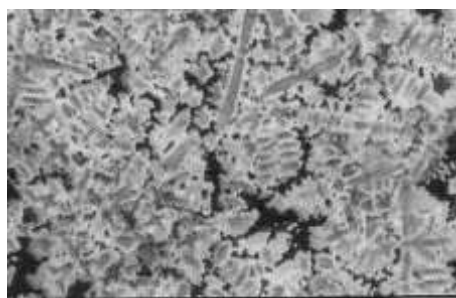
вую мастер-модель рекомендуют наносить гальваническим способом слой никеля или родия для получения гладкой и твердой поверхности. Такие покрытия являются блестящими и прочными и позволяют получить более высокую степень финишной обработки, увеличивают износостойкость и создают отталкивающий слой, защищающий от коррозии и окисления, что особенно важно на этапе вулканизации обычной сырой резины.

При изготовлении мастер-модели необходимо учитывать, что при последующей операции литья по выплавляемой модели металл будет давать усадку. Также мастер-модель должна учитывать величину усадки резины и воска, припуски на опиловку и полировку. Таким образом, необходимо предусматривать припуски на усадку, которые определяются опытным путем, но не более 5...6 % от заданной размерной величины. Усадка резины в среднем 2...3 %, сплавов золота 1,2...1,5 %. Например, мастер-модель кольца диаметром 16 мм должна быть изготовлена размером 16,5 мм [4].

После изготовления мастер-модели к ней припаивают питатель (литниковый стержень) диаметром 2...3 мм. Концы питателей выполняют в форме конуса по размеру, подходящему к соплу воскового инжектора. Питатель – очень важная и ответственная часть литниково-питающей системы в ювелирном литье. Питатель должен гарантировать идеальное заполнение всех полостей формы и должен служить в качестве резервуара жидкого металла для компенсации объемной усадки сплава в отливке при ее затвердевании. Если питатель не выполняет функцию подпитки, то образуется литейный дефект – усадочная пористость с характерной дендритной структурой (рис. 2.3). Если такой дефект находится внутри отливки, то эстетических проблем не возникает, однако, наиболее часто, усадочная пористость проявляется на поверхности отливки и, в зависимости от степени дефекта, его подвергают исправлению или отливку пускают целиком в отходы.



а)



б)

а – усадочная пористость на срезе изделия; б – усадочная пористость на металлографическом шлифе

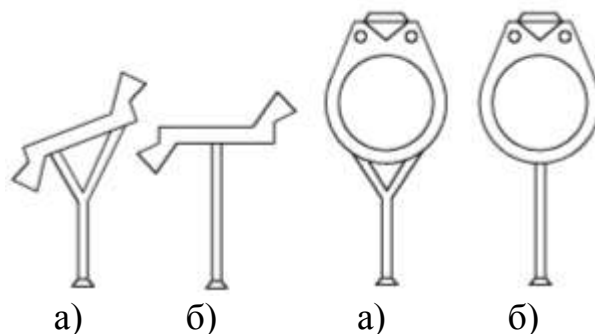
Рисунок 2.3 – Усадочные дефекты в ювелирной отливке

При креплении питателя к мастер-модели необходимо соблюдать следующие требования [4; 11]:

- должно обеспечиваться легкое заполнение полости форм;

- стенки отливок должны быть оптимальными по толщине и равномерными по сечению;
- следует избегать Т-образного (таврового) сопряжения питателя со стенкой модели (рис. 2.4);
- питатели должны присоединяться к толстым сечениям модели.

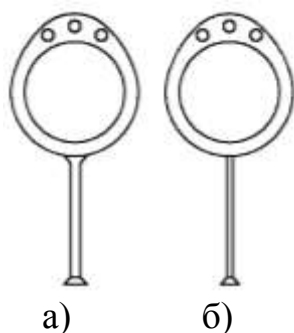
При креплении питателя к мастер-модели необходимо создавать условия для более равномерного охлаждения отливки, уменьшающие опасность появления внутренних напряжений, коробления и трещин.



а – правильно; б – неправильно

Рисунок 2.4 – Варианты сопряжений питателей с мастер-моделью

Следует учитывать, что тонкий питатель относительно толщины стенки изделия вызывает появление усадочных раковин (рис.2.5).



а – правильно; б – неправильно

Рисунок 2.5 – Варианты крепления питателей к мастер-модели в зависимости от толщины питателя

Для сложных по форме мастер-моделей питатели выполняют из нескольких разветвлений (рис. 2.6).

В случае, когда необходимо использовать больше, чем один питатель, все питатели должны быть соединены вместе и, если возможно, в общей точке, как показано на рисунке 2.6. Желательно в этой точке сделать дополнительное утолщение, чтобы образовался дополнительный питающий резервуар.

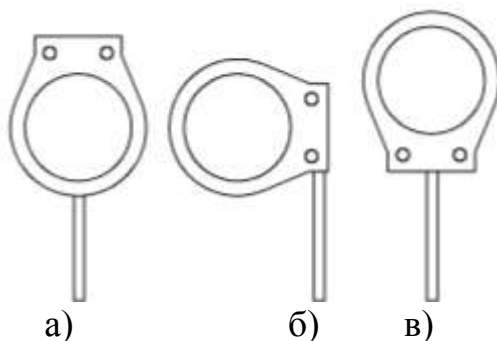


Рисунок 2.6 – Схема разветвляющегося питателя

Питатели не должны иметь острых углов или поворотов. Расплав должен заливаться в модельные полости формы без турбулентности, чтобы избежать проникновения газов, которые могут привести к образованию пористости в отливках. Резкие углы и изгибы в литниковой системе могут привести также к облому кусков формомассы и заносу их расплавом в модельную полость, что приведет к браку.

Если модель имеет толстое сечение, предшествующее тонкому, а затем снова толстое сечение, то следует использовать несколько питателей.

Питатели необходимо присоединять к толстым стенкам мастер-модели (рис. 2.7). Кроме того, они должны исходить из одной точки главного литника. Не должно быть резких переходов от толстого сечения к тонкому.



а – неправильно; б, в – правильно

Рисунок 2.7 – Варианты крепления питателей в зависимости от толщины стенки мастер-модели

После конструирования мастер-модели из воска ее отливают методом ЛВМ в металле и обрабатывают, как описано выше.

В настоящее время создание ювелирных изделий облегчается применением различных САД систем компьютерного трехмерного моделирования, позволяющих получить объемный рисунок, используемый для изготовления мастер-модели.

Дальнейшая работа по изготовлению мастер-модели выполняется на гравировально-фрезерных станках с ЧПУ разнообразных конфигураций. Со-

временные модели станков – малогабаритные, с возможностью их монтажа непосредственно на рабочем столе, в одном ряду с принтером и сканером. Подобное оборудование в настоящее время предлагают такие фирмы-производители, как: Roland, Cielle, Solidscape, 3D-systems.

Процедура создания мастер-моделей на гравировально-фрезерных станках с ЧПУ, так же как и при традиционном ручном способе изготовления, начинается с воплощения идеи дизайнера на бумаге в виде эскиза или рисунка. После этого отсканированное изображение оцифровывается (векторизируется) в любой из доступных графических программ (CorelDraw, AdobeIllustrator и т.п.). В настоящее время имеется множество специализированных программных продуктов для ювелирного моделирования: Gemvision Matrix 3D, Rhinoceros, ArtCAM Pro, JewelCad, 3type, 3DS Max, каждый из которых наряду с неоспоримыми преимуществами, имеет свои недостатки, главным из которых является высокая стоимость для отечественного производителя. Стандартный набор функций некоторых из таких программ включает следующие возможности: создание 3D модели, быстрое и удобное редактирование уже существующих моделей или данных сканирования (3D сканеры), возможность добавления технологических уклонов, литников, возможны расчеты массы изделия, величины усадки, времени изготовления. Неоспоримым преимуществом компьютерного моделирования является то, что уже на этом начальном этапе моделирования, когда до конечного изделия еще далеко, можно оценить его внешний вид, вес, технологичность, при необходимости внести конструктивные изменения.

Следующим шагом работ является создание управляющей программы для станка с ЧПУ (станок комплектуется соответствующим пакетом программного обеспечения). Процесс написания управляющих программ является практически полностью автоматизированным. В большинстве случаев, требуется только выбрать рабочий инструмент, задать скорости его перемещения и вращения, указать рабочую область и толщину слоев срезаемого материала - всю последующую работу выполняет компьютер совместно со станком. Расходными материалами для таких систем являются специальные модельные воски, пластик, дерево.

Пример трехмерной модели ювелирного кольца, выполненный в программном пакете Gemvision Matrix 3D представлен на рисунке 2.8, фрагмент гравировально-фрезерного станка с ЧПУ Revo540CX – на рисунке 2.9 [10].

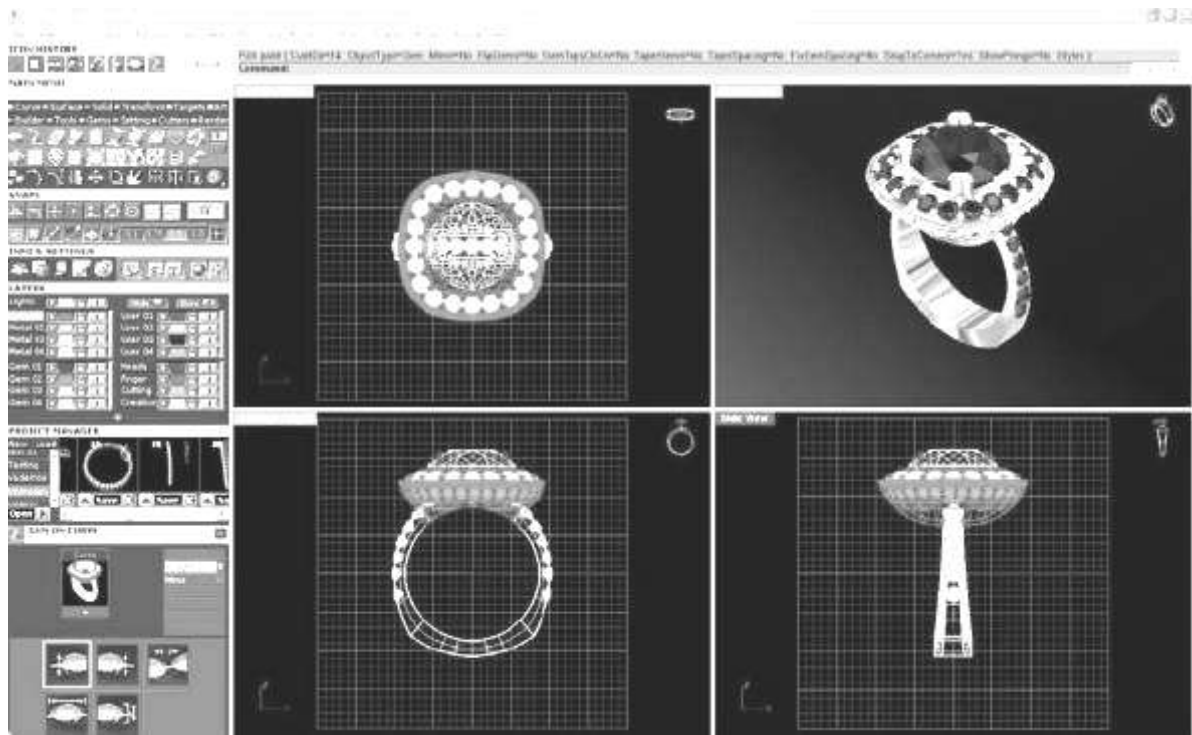


Рисунок 2.8 – Трехмерная модель ювелирного кольца, выполненная в программном пакете Gemvision Matrix 3D

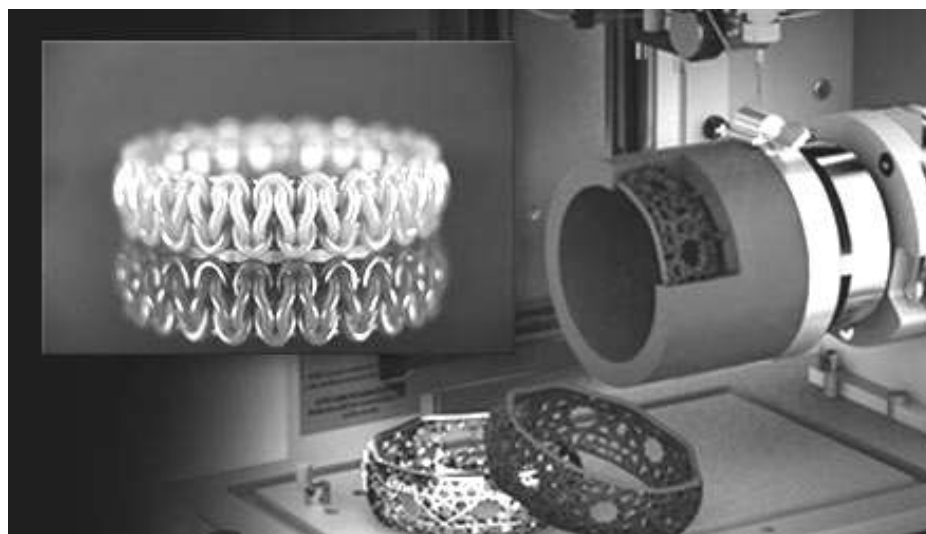


Рисунок 2.9 – Фрагмент гравировально-фрезерного станка с ЧПУ Revo540CX

2.3 Изготовление резиновых пресс-форм

В ювелирном производстве восковые модели изделий получают в специальных пресс-формах, изготовленных из гибких и эластичных материалов – резин. Резиновая пресс-форма должна повторять контур и все художественные линии будущего ювелирного изделия.

Приступая к изготовлению резиновой пресс-формы, необходимо определить ее технологичность, т.е. удобство изъятия из нее восковой модели. Резиновая пресс-форма, как правило, изготавливается методом вулканизации сырой резины, в которую закладывается мастер-модель изделия. Технология изготовления резиновой пресс-формы зависит от сложности конструкции изделия.

2.3.1 Основные типы резин для изготовления пресс-форм

В настоящее время на рынке расходных ювелирных материалов представлено множество различных типов резин – как натуральных, так и синтетических, включая силиконовые резины. Каждый тип резины имеет конкретные характеристики, подходящие к планируемым восковкам различной конфигурации. Как правило, натуральные резины являются более прочными и износостойкими. Силиконовые резины менее прочны, однако лучше воспроизводят рельеф на поверхности сложных по конфигурации мастер-моделей. Двухкомпонентные вулканизируемые резины, разработанные сравнительно недавно, являются весьма простыми в работе, однако обладают пониженной износостойкостью по сравнению с другими типами резин. Основные типы резин и их характеристики представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Основные типы резин, применяемых для изготовления резиновых пресс-форм, их преимущества и недостатки

Тип резины	Преимущества	Недостатки
1	2	3
Натуральная резина (требуется вулканизация)	1. Высокая степень сопротивления на разрыв; 2. Хорошо подходит для сложных моделей; 3. Простота и легкость разрезки пресс-формы; 4. Незначительная объемная усадка; 5. Требуется мало надрезов для извлечения восковки	1. Затрудненная разрезка пресс-формы; 2. Требуется сравнительно больше времени для заполнения рамки; 3. Сравнительно высокая мягкость; 4. Необходимость применения разделительного спрея или талька
Силиконовая резина (требуется вулканизация)	1. Легкость заполнения рамки; 2. Легкость разрезки; 3. Не требуется применение разделительного спрея или талька; 4. Имеется несколько сортов по жесткости	1. Требуется больше дополнительных надрезов для извлечения восковки; 2. Усадка несколько выше, чем у натуральной резины; 3. Удовлетворительная степень сопротивления разрыву (ниже, чем у натуральной резины)

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
Двухкомпонентная силиконовая резина, полимеризующаяся при комнатной температуре	1. Очень высокая степень поверхностного глянца; 2. Требуется мало времени для подготовки; 3. Незначительная усадка; 4. Не требуется применение разделительного спрея или талька	1. Подходит только для простых восковок без поднутрений; 2. Умеренная степень сопротивления разрыву; 3. Трудно прожигаемая (для увеличения диаметра питателя)
Жидкая двухкомпонентная силиконовая резина	1. Очень высокая степень поверхностного глянца; 2. Простота в подготовке; 3. Незначительная усадка; 4. Не требуется применение разделительного спрея или талька; 5. Может быть использована с восковыми моделями	1. Умеренная степень сопротивления разрыву; 2. Трудно прожигаемая (для увеличения диаметра питателя); 3. Высокая стоимость
Прозрачная силиконовая резина (требуется вулканизация)	1. Хорошая степень поверхностного глянца; 2. Прозрачность; 3. Легкость в разрезке; 4. Мягкость и гибкость	1. Значительная усадка, которую следует принимать в расчет; 2. Высокая стоимость
Безусадочная розовая резина (требуется вулканизация)	1. Практически нулевая усадка; 2. Очень высокая степень поверхностного глянца	1. Необходимость строгого соблюдения температурного режима вулканизации ($143 \pm 1^\circ\text{C}$)

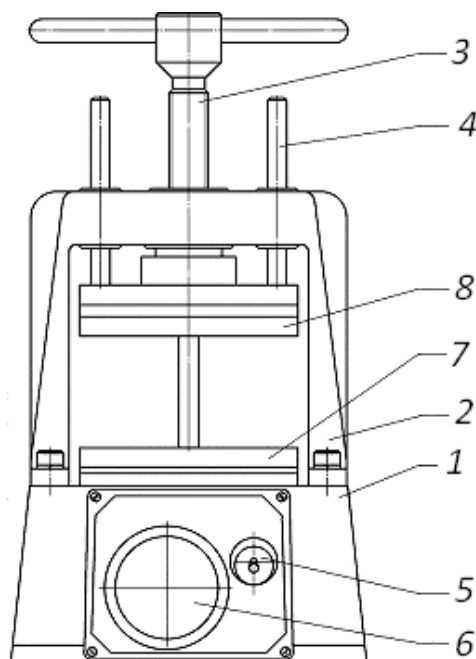
Резины всех типов, представленных в таблице 2.1, должны использоваться в строгом соответствии рекомендациям производителей.

2.3.2 Вулканизаторы для изготовления пресс-форм

Вулканизатор – это устройство, предназначенное для снятия резиновых пресс-форм с металлических мастер-моделей. Вулканизация резины необходима для того, чтобы пресс-форма приобрела упругие и эластичные свойства. Вулканизаторы, применяемые в ювелирном производстве для изготовления резиновых пресс-форм, должны обеспечивать нагрев и сжатие резины находящейся в специальной металлической рамке – опоке.

Вулканизатор (рис. 2.10) представляет собой мощную цельнолитую конструкцию с направляющими стойками, которые обеспечивают точное совмещение плит вулканизатора. Как в нижней, так и в верхней плитах вулканизаторов вмонтированы нагревательные элементы – электрические сопротивления. Рабочая температура выставляется терморегуляторами, расположенными на панели управления устройства отдельно для каждой плиты. Полный автоматизированный контроль температуры и времени достигается с помощью программатора, а быстрое понижение температуры пресс-формы

легко осуществляется системой принудительного охлаждения. Мощный прижимной винт обеспечивает плотное соединение между рамкой и плитами вулканизатора.



1 – основание; 2 – траверса; 3 – винтовая пара с маховиком; 4 – направляющие стойки для верхней подвижной плиты; 5 – тумблер; 6 – система терморегулирования с переключателем; 7, 8 – нагревательные плиты

Рисунок 2.10 – Схема вулканизатора

Опоки обычно изготавливаются из высокотеплопроводных материалов, например, алюминия и имеют круглую или квадратную форму. Внутри опоки помещается резина. Размеры опоки выбираются в соответствии с размерами изделия (мастер-модели).

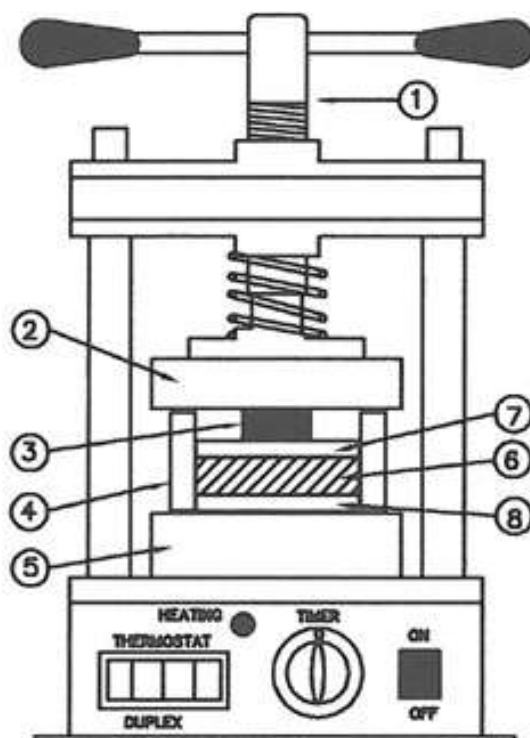
Традиционные вулканизаторы имеют винтовое сжатие, более передовые модели – гидравлическое. Вулканизационные плиты обычно имеют квадратную форму, однако возможно применение круглых, прямоугольных пресс-форм.

В настоящее время вулканизаторы производятся рядом фирм, специализирующихся на ювелирном оборудовании различного назначения: Рута (Россия), Kerr, ARBE, Dura-BULL (США), LOGIMEC, Chinetti (Италия), Argenta (Польша) и др. Технические характеристики типовых моделей вулканизаторов приведены в таблице 2.2 [12].

Одним из многофункциональных и универсальных вулканизаторов является модель с электронным управлением LOGIMEC Duplex, производства Италии (табл. 2.2).

Вулканизатор LOGIMEC Duplex позволяет изготавливать резиновые пресс-формы в прямоугольных или цилиндрических опоках по двум методам: как с внутренними раздвижными вставками в опоках, так и без них. Это достигается быстрым переоборудованием плит вулканизатора, что позволяет

менять форму нагревательного элемента для работы с любыми пресс-формами. На рисунке 2.11 представлена схема работы вулканизатора LOGIMEC Duplex с использованием цилиндрической или прямоугольной опоки с внутренними металлическими раздвижными вставками (7, 8): нагревательные плиты (2, 5) передают к опоке (4) тепло, необходимое для вулканизации, в то время как центральный поршень (3), спускаясь внутрь опоки, сжимает резиновую матрицу (6).



1 – стопорный винт; 2 – верхняя нагревательная плита; 3 – центральный поршень; 4 – опока; 5 – нижняя нагревательная плита; 6 – резиновая матрица; 7, 8 – металлические раздвижные вставки

Рисунок 2.11 – Схема работы вулканизатора LOGIMEC Duplex с использованием внутренних металлических раздвижных вставок

Таблица 2.2 – Типовые модели вулканизаторов и их технические характеристики

Модель вулканизатора	Внешний вид вулканизатора	Технические характеристики
Вулканизатор «AR-VE», (США) с одним регулятором температуры (плита 210х150мм)		<ul style="list-style-type: none"> - напряжение электропитания: 220 В; - потребляемая мощность: 1,32 кВт; - сила тока: 6 А; - регуляторы температуры: 50...300°C; - максимальный развод плит: 100 мм; - размер рабочей плоскости пластин: 210 x 150 мм; - габариты: 510 x 350 x 220 мм; - масса: 20 кг.
Вулканизатор «РУТА», (Россия) с двойным регулятором температуры (плита 200х125мм)		<ul style="list-style-type: none"> - напряжение электропитания: 220 В; - потребляемая мощность: 2,0 кВт; - сила тока: 10 А; - регуляторы температуры: 50...200°C; - максимальный развод плит: 100 мм; - размер рабочей плоскости пластин: 200 x 125 мм; - габариты: 400 x 360 x 170 мм; - масса: 15 кг.
Вулканизатор «LOGIMEC Duplex», (Италия) (плита 150х150мм)		<ul style="list-style-type: none"> - напряжение электропитания: 220 В; - потребляемая мощность: 2,0 кВт; - сила тока: 4 А; - максимальная температура: 1900°C; - максимальное время таймера: 120мин; - максимальный развод плит: 70 мм; - размер рабочей плоскости пластин: 150 x 150 мм; - габариты: 450 x 280 x 210 мм; - масса: 21 кг.

2.3.3 Изготовление пресс-форм из различных типов резин

2.3.3.1 Изготовление пресс-форм из сырой натуральной каучуковой резины

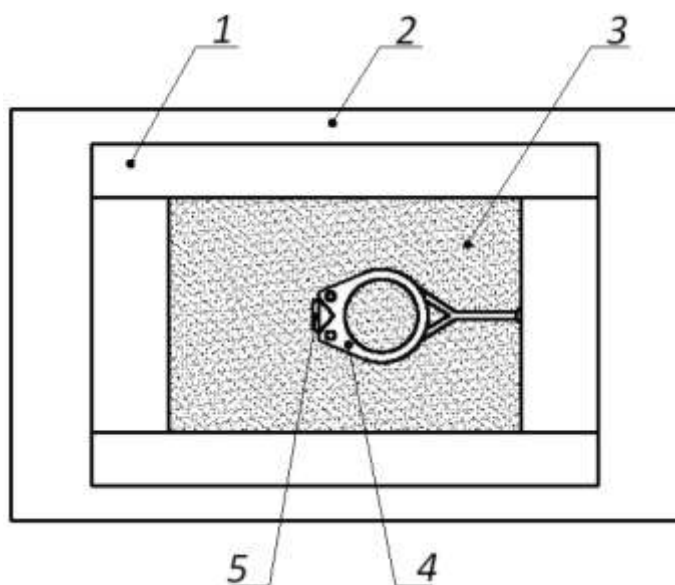
Наибольшее распространение среди модельных натуральных резин получила каучуковая резина Castaldo (США) [11; 14]. Все основные разновидности резин Castaldo, в том числе ювелирные формовочные резина Castaldo White Label (белая), Castaldo Gold Label (желтая) и Castaldo No Shrink Pink (розовая безусадочная) изготовлены из латексного сока каучуковых деревьев, выращенных на плантациях в тропических лесах Юго-Восточной Азии.

Для изготовления резиновой пресс-формы из сырых каучуковых резин их нарезают на заготовки соответствующей формы и укладывают их в прямоугольную раму из алюминия. Устанавливают мастер-модель в раму и заполняют внутренние полости мастер-модели кусочками сырой резины. Далее заполняют раму заготовленными полосками резины до верха. Далее помещают раму между двумя нагретыми плитами вулканизационного пресса и вулканизируют резину в течение 30...90 мин. – в зависимости от толщины рамы из расчета 15 мин. на каждый слой резины толщиной 6,35 мм. Рассмотрим основные разновидности способов.

Способ 1 (схематично представлен на рис. 2.1). Специальную опоку с направляющими штифтами укладывают на гладкую поверхность стола или опорную плиту основанием вниз. Затем опоку заполняют пластилином, в который вдавливают до половины мастер-модель изделия. На эту опоку устанавливают вторую и заливают ее жидким раствором гипса. После затвердевания гипса, опоки переворачивают и удаляют пластилин, а мастер-модель при этом остается в гипсовой форме. В гипсе делают несколько углублений, которые будут направляющими выступами резиновой формы. Сырую резину нарезают мелкими кусочками, которыми наполняют верхнюю половину формы. Опоки устанавливают на вулканизационный пресс и вулканизируют кусочки резины в течении 4...6 мин при температуре 150...160 °С. После этого гипс разбивают, извлекают и тщательно очищают мастер-модель и получившуюся резиновую полуформу. Затем опоку, в которую вложили готовую полуформу, укладывают основанием вниз, наносят разделительное покрытие (тальк) и в полуформу укладывают мастер-модель. Вторую верхнюю половину опоки заполняют кусочками сырой резины. Далее вулканизируют вторую половину форм и получают обе части резиновой пресс-формы. Затем из резиновой пресс-формы извлекают мастер-модель и прорезают в ней литниковый канал (питатель).

Способ 2. При изготовлении пресс-формы для получения восковых моделей простых форм достаточно поместить мастер-модель между двумя пластинами сырой резины соответствующей толщины так, чтобы при вдавливании образец был полностью утоплен в резину, с последующей их вулканизацией (рис. 2.12).

Мастер-модель располагают в раме прямоугольной формы так, чтобы она полностью была размещена в центре всей формы. Для этого нарезают резину по форме рамы и далее ее укладывают в раму, при этом предварительно уложив в ее центр мастер-модель. После заполнения рамы с поправкой на уплотнение резины, ее помещают в вулканизатор.



1 – рама (опока); 2 – опорная плита; 3 - пластина сырой резины; 4 – мастер-модель; 5 – ювелирный камень

Рисунок 2.12 – Схема укладки мастер-модели в раму для изготовления пресс-формы

Основным недостатком резиновой пресс-формы, изготовленной из сырых натуральных каучуковых резин является их усадка, возникающая при вулканизации (исключение Castaldo No Shrink Pink). Природа возникновения усадки зависит от типа резины, ее качества, а также от режима ее вулканизации. Усадка сырой резины после вулканизации обычно составляет 2...3 %. Поэтому очень важен выбор разновидности резины для изготовления пресс-формы. Существуют и другие виды резин – силиконовые, а также двухкомпонентные резины, полимеризующиеся при комнатной температуре с нулевой усадкой.

2.3.3.2 Изготовление пресс-форм из жидких двухкомпонентных силиконовых резин

Существенным недостатком сырых каучуковых резин является их усадка, которую необходимо учитывать при проектировании мастер-моделей. Поэтому для изготовления резиновых форм также используют жидкие силиконовые резины, которые практически не дают усадки. Жидкие резины затвердевают при комнатной температуре, что позволяет изготавливать резиновые пресс-формы из моделей с уже закрепленными в них юве-

лирными камнями, на которые температура и давление оказывают отрицательное воздействие.

Для изготовления резиновых форм, особенно при литье с камнями, широкое распространение получили прозрачные жидкие двухкомпонентные силиконовые резины Ласил-С и Ласил-Т с минимальной усадкой, производящиеся в России с использованием импортных компонентов [11, 15].

Таблица 2.3 – Свойства жидких двухкомпонентных силиконовых резин

Характеристики резины	Ласил-С	Ласил-Т
Соотношение основа / отвердитель, мас. %	10/1	10/1
Длительность рабочего цикла при 22 °С, мин	40	100...120
Время полной вулканизации при 22 °С, ч	7	11
Свойства после отверждения (для образца толщиной 10...15 мм через 24 ч после вулканизации при 22 °С)		
Твердость по Шору (А), ед.	25	43
Предел прочности при растяжении, МПа	7	5,5
Относительное удлинение при разрыве, %	850	300
Сопротивление раздиру (прочность на разрыв), кН/м	23	21
Плотность, г/см ³	1,12	1,12
Линейная усадка через 24 ч при 25 °С, %	0	0
Линейная усадка через 168 ч (7 суток) при 25 °С, %	≤ 0,1	≤ 0,1

Резина Ласил-С – мягкая силиконовая резина холодного отверждения с высоким относительным удлинением. Разработана для изготовления резиновых форм для технологии литья по выплавляемым моделям, литья легкоплавов или полимеров центробежным способом, а также изготовления всевозможных скульптурных форм и слепков. Может использоваться для снятия форм с вертикальных поверхностей, а также неподвижных объектов.

Преимущества Ласил-С:

- мягкость и высокое удлинение до разрыва у готовых пресс-форм, что позволяет снимать пресс-формы, со сложных и объемных мастер-моделей, а также моделей, извлечение которых из формы затруднено;
- отверждение при комнатной температуре позволяет производить заливку мастер-моделей (моделей), для которых температура и давление вулканизации могут оказать пагубное воздействие;
- низкая вязкость компонентов обеспечивает легкое перемешивание и вакуумирование в процессе подготовки резины к заливке в опоку;
- хорошая объемная стабильность и практически нулевая усадка;
- формы рекомендуется использовать для заливки (инжектирования) ювелирного воска, полиуретана, полиэфирных смол, пенополиуретанов, эпоксидных смол, а также легкоплавких сплавов на основе олова;
- не требуется использование силиконового разделительного спрея для извлечения восковок, поскольку уже содержит смазывающие агенты;
- достаточная гибкость, устойчивость к раздиру в месте разрезания ножом.

Особенности применения резины Ласил-С. Прежде всего, необходимо очистить поверхность мастер-модели от посторонних частиц. В случае необходимости, в особенности на пористых поверхностях, необходимо использовать смазку, вазелин или мыльный раствор для облегчения последующего отделения резины от мастер-модели.

Жидкую резину перед заливкой необходимо подвергнуть вакуумной обработке для удаления пузырей воздуха. Для этого резину помещают в вакуумную камеру на 1...2 минуты. Если пользование вакуумом невозможно, рекомендуется сначала с помощью кисти нанести на поверхность мастер-модели тонкий слой жидкой резины (1...2 мм). Оставить при комнатной температуре до исчезновения пузырей и начала полимеризации материала. Затем залить сверху мастер-модель в опоке остальной резиной для образования полноценной формы.

Заливку резины необходимо производить аккуратно, избегая захвата воздушных пузырьков. При комнатной температуре (22...24 °С) смесь полимеризуется за 6...8 часов, после чего пресс-форму можно отделять от мастер-модели. При более низких температурах, полимеризация происходит дольше, при повышенных температурах – существенно быстрее, например, при 10 °С – 20 часов, при 40 °С – 40 минут. Следует учитывать, что при повышении температуры полимеризации, усадка резины заметно увеличивается. Следует учитывать, что из-за высокой мягкости пресс-форм, изготовленных из резины Ласил-С, во избежание деформации восковки, в процессе инжектирования пресс-форму следует держать в жесткой рамке.

Резина Ласил-Т – это высокопрочная жидкая двухкомпонентная формовочная силиконовая резина холодного отверждения. Разработана для изготовления прозрачных резиновых пресс-форм для технологии литья по выплавляемым моделям.

Преимущества Ласил-Т:

- прозрачность готовых пресс-форм, что позволяет аккуратно разрезать пресс-форму, что особенно важно для сложных, объемных изделий, а также моделей, которые могут быть повреждены в процессе извлечения из пресс-формы. Инжектирование в прозрачную форму существенно облегчает поиск и подбор оптимальных параметров процесса;
- легкое перемешивание и вакуумирование в процессе подготовки резины к заливке;
- хорошая объемная стабильность и практически нулевая усадка;
- не требуется использование силиконового разделительного спрея для извлечения восковок, поскольку уже содержит смазывающие агенты;
- может длительно использоваться для заливки и инжектирования при температурах до 200°С и кратковременно – до 250 °С;
- обладает средней твердостью и высокими прочностными характеристиками;
- достаточная гибкость, устойчивость к раздиру в месте разрезания ножом;

- имеется возможность изготовления пресс-форм без вакуумирования резины.

Приготовление резины Ласил-Т включает следующие технологические операции:

1) принимают соотношение компонентов резины основа – отвердитель – 100 / 10;

2) компоненты тщательно перемешивают шпателем в течение 10...12 минут при комнатной температуре, не допуская при этом перегрева смеси выше 35 °С;

3) для удаления пузырьков воздуха смесь вакуумируют 1...2 минуты в вакуумной камере; если вакуумирование невозможно, тогда сначала смешивают небольшое количество компонентов и наносят эту смесь тонким слоем с помощью кисти на мастер-модель; далее оставляют опоку с мастер-моделью при комнатной температуре до исчезновения пузырей и начала полимеризации;

4) опоку с мастер-моделью заливают сверху свежеприготовленной смесью и оставляют на открытом воздухе на 18...24 ч.

2.3.4 Разрезка резиновых пресс-форм

После вулканизации (полимеризации) резины последующей обязательной операцией является разрезка пресс-формы с целью извлечения мастер-модели, обеспечения полости пресс-форм под инжектирование модельного воска. При разрезке выполняется плоскость разъема пресс-формы, которая должна обеспечить четкое совмещение половин пресс-формы без перекосов и смещений.

Разрезка резиновой пресс-формы, как правило, выполняется вручную и требует от резчика высокой квалификации, опыта, аккуратности и пространственного воображения. Существуют различные способы разрезки: зигзагообразная, четырехзамковая. Резка производится специальными ножами (скальпелями) со сменными лезвиями различной формы. При зигзагообразной разрезке формы резать начинают с литниковой воронки, далее надрезают торцевые стенки формы резким зигзагом вглубь. Такая разрезка обеспечивает четкое совмещение половинок пресс-формы после разрезки. При четырехзамковой разрезке сначала прямым лезвием делают надрез глубиной 2...3 мм по середине кромок резиновой пресс-формы. Затем вырезают кривым лезвием четыре замка в пресс-форме, чтобы не было смещения двух ее половинок при получении восковых моделей. Замки представляют собой углубления квадратной формы на одной половинке формы с размерами 9 x 9 x 5 мм и соответствующие выступы на другой половинке формы. Замки располагаются на углах прямоугольной резиновой пресс-формы.

При литье с камнями в полость пресс-формы в соответствующие ячейки вначале укладывают камни, а затем в форму с помощью инжектора впрыскивают воск и получают восковые модели с закрепленными в них камнями.

Пример резиновой пресс-формы с разрезкой по плоскости разъема, изготовленной по мастер-модели ювелирного изделия «блок швенза» (рис. 2.13), представлен на рисунке 2.14.

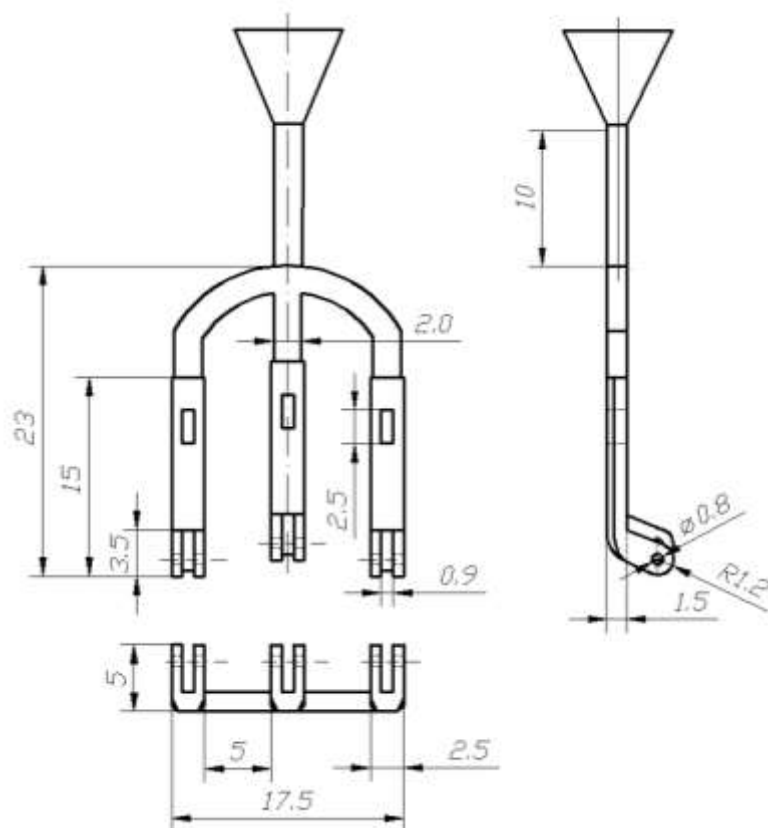


Рисунок 2.13 – Мастер-модель отливки «блок - швенза»

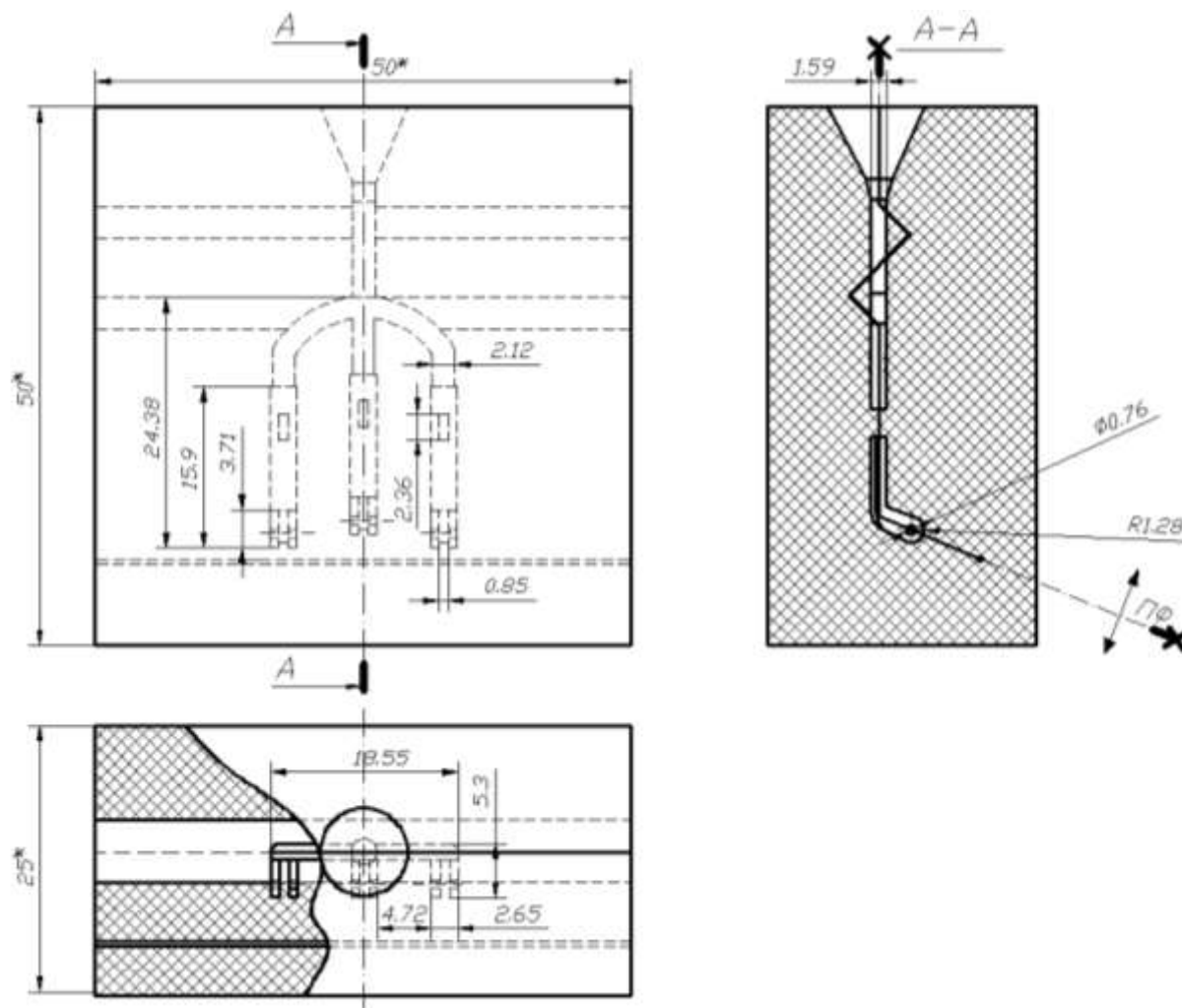


Рисунок 2.14 – Резиновая пресс-форма для получения восковой модели отливки «блок - швенза»

После изготовления пресс-формы нумеруют и маркируют. В перерывах между использованием пресс-формы хранят в закрытых контейнерах, ящиках или шкафах, т.е. в местах, исключающих попадание на пресс-формы солнечного света и пыли. После каждого очередного использования пресс-формы необходимо тщательно очищать. Также рекомендуется в производственных условиях вести журнал пресс-форм, куда должны вноситься все параметры производства восковых моделей для каждой конкретной пресс-формы (тип и температура воска, температура инъекции, степень вакуума, давление, продолжительность охлаждения).

2.3.5 Распространенные проблемы при производстве резиновых пресс-форм, их причины и способы устранения

При работе с различными типами резиновых материалов в процессе изготовления из них пресс-форм могут возникать определенные трудности, проблемы и дефекты. Некоторые из наиболее распространенных проблем,

причины их возникновения, а также некоторые простые способы их устранения представлены в таблице 2.4 [16].

Таблица 2.4 – Распространенные проблемы при производстве резиновых пресс-форм

Проблема	Причина появления	Способы устранения
Пресс-форма имеет повышенную мягкость и липкость	1. Не соблюдается режим вулканизации: слишком низкая температура или слишком малая продолжительность выдержки в процессе вулканизации	1. Проверить действительную температуру вулканизатора; 2. Работать в соответствии с рекомендациями производителя относительно температуры и времени вулканизации
Пресс-форма имеет повышенную твердость с элементами деформирования	1. Завышенное давление вулканизации; 2. Передерживание пресс-формы в процессе вулканизации и (или) завышенная температура вулканизации	1. Понизить давление; 2. Проверить действительную температуру вулканизатора; 3. Работать в соответствии с рекомендациями производителя относительно температуры и времени вулканизации
Слои пресс-формы склонны к расслоению	1. Загрязнение поверхностей кусков резины в процессе изготовления пресс-формы (грязные руки, жир, тальк и т.п.)	1. Использовать чистые резиновые материалы; 2. Соблюдать чистоту
Наличие пузырьков или вмятин на больших участках пресс-формы	1. Недостаточное заполнение резиной рамки (опоки)	1. Заполнить рамку резиной более плотно
Повышенная твердость исходной резины и неспособность ее вулканизироваться	1. Резина уже является частично или полностью вулканизированной под действием случайного нагрева либо в течение длительного хранения	1. Заменить вышедшую из строя резину на новую; 2. Проверить условия хранения резины
Повышенная усадка резины	1. Слишком высокая температура вулканизации	1. Проверить действительную температуру вулканизатора; 2. Работать в соответствии с рекомендациями производителя относительно температуры и времени вулканизации; 3. Понизить температуру вулканизации до 143 °С и вдвое увеличить время вулканизации
Резина не заполняет все полости и поднутрения в рамке	1. Неправильная укладка кусков резины в рамке; 2. Используется слишком старая резина	1. Необходимо вкладывать более мелкие кусочки резины в рамку; 2. Проверить правильность температуры, регистрируемой вулканизатором
Повышенная твердость и жесткость резины	1. Резина находится в замороженном состоянии после длительного хранения при низкой температуре	1. Медленно нагревать резину до 38 °С

2.4 Изготовление восковых выплавляемых моделей

2.4.1 Основные типы восков, применяемых в ювелирном производстве

Выплавляемые модели изготавливают путем запрессовки расплавленного модельного состава в полость резиновой пресс-формы. Физико-химические свойства модельных составов и шероховатость поверхности выплавляемых моделей в существенной степени определяют качество изготовленных отливок ювелирных изделий. Поэтому модельные составы должны соответствовать следующим основным требованиям:

- обеспечивать четкое воспроизведение оригинала;
- иметь невысокую температуру плавления, а температуру воспламенения не ниже 180 °С;
- иметь качественную глянцевую поверхность;
- обладать достаточной пластичностью и прочностью;
- обладать минимальной усадкой при затвердевании;
- иметь нулевую зольность при высокотемпературном прокаливании литейных форм;
- должны легко и без остатка выплавляться;
- безопасность, нетоксичность, неканцерогенность.

Модельный состав, как правило, состоит из трех компонентов: наполнителя, пластификатора и упрочнителя. Наполнитель является структурообразующим компонентом, который препятствует усадке, снижает внутренние напряжения и стоимость модельных составов, и должен иметь хорошую совместимость с воскоподобными материалами (различные марки парафинов и стеаринов, пчелиный воск, полиэтилен высокого давления и др.). Пластификаторы придают пластичность и расширяют интервал пластичного состояния модельного состава и должны совмещаться с наполнителем (дибутилфталат, касторовое масло, полистирол, этилцеллюлоза и др.). Упрочнитель повышает механические характеристики модельных сплавов (высокоплавкие церезины, шеллачный воск, канифоль и др.).

В настоящее время на рынке представлено огромное разнообразие восков, которые по назначению условно можно разделить на несколько групп:

- скульптурные воски;
- воски для резьбы;
- воски для лепки;
- инжекторные воски.

Скульптурные воски используются для изготовления изделий больших размеров, восковые модели которых трудно получить при помощи запрессовки под давлением на инжекторной установке. Как правило, такие модели изготавливают свободной заливкой в форму. Для этой операции хорошо подходят такие марки восков как: KC1364-B Sculpture Wax Base с температурой плавления 64,5 °С; KC1467 A Dark Red с температурой плавления 67 °С; KC 1767-S White с температурой плавления 90,5 °С. Эти воски имеют низкую усадку и зольность, и полностью выгорают при прокатке форм.

Воски для резьбы более твердые по сравнению с другими восками и имеют более высокую температуру плавления, применяют их для изготовления моделей сложного дизайна путем механической обработки режущими инструментами. На украинском рынке воски для резьбы представлены фирмами Ferris, Kerr и Matt, поставляются в виде брусков, профильных стержней и проволоки. Наиболее популярным для резьбы является воск марки Ferris Fille-A-Wax (зеленый) - это самый твердый воск, на нем возможна прорезка наиболее тонких деталей и сложных дизайнов; может полироваться до зеркального блеска; толщина стенки восковок может достигать менее 0,2 мм при сохранении исходной прочности. Воски для резьбы хорошо обрабатываются резцами, но требуют предельной осторожности, поскольку при работе с ними не рекомендуется сильно заглублять инструмент, так как это может привести к сколам на поверхности изделий.

Воски для лепки предназначены для ручного изготовления выплавляемых моделей, позволяют формировать изделия лепкой, прокаткой, скручиванием, штамповкой, таким образом, придавая им различную форму. Такие воски быстро размягчаются от незначительного действия внешнего источника тепла (например, фена). В связи с этим их периодически охлаждают в холодильнике или в холодной воде для придания им первоначальной твердости. Такие воски легко поддаются гибке и пайке. Воски для лепки, как правило, выпускаются в виде пластин различной формы и цвета (разные цвета восков характеризуют их различия между собой по физико-механическим свойствам, например, пластичности, твердости, усадке и т.д.). Характерным представителем лепных восков является марка Ferris Mold-A-Wax, которая производится в двух цветовых исполнениях – красный и черный воски. Красный воск хорошо лепится и формируется при температуре тела. При комнатной температуре изделия из красного воска хорошо держат форму. Красный воск используется для снятия слепков с гравюр, гипсовых форм, орнаментов и т.п. Черный воск более твердый с температурой плавления 76 °С, что позволяет его применять для инжестирования, а после охлаждения становиться твердым и годится для резьбы.

Инжекторные (литьевые) воски ювелирного назначения имеют зеленый, желтый, голубой, красный и оранжевый цвета, в зависимости от наличия определенных физико-механических свойств – разные производители стараются не нарушать цветность восков. Литейные воски имеют низкую температуру плавления (63...74 °С) и при нагревании до 700 °С полностью сгорают. Наибольшее применение в ювелирном деле нашли инжекторные воски фирм Castaldo SuperCera, Freeman, Ferris, Kerr и др. Вместе с тем широкое применение нашли также воски, в состав которых входят парафин, шеллачный воск, сополимер этилена с винилацетатом и красители. Для изготовления моделей применяются воски различных модификаций, которые могут поставляться в виде пластин, блоков, стержней, проволоки на бобине, профильных стержней, сеток и др. Основные свойства инжекторных литьевых восков различных цветов фирмы Castaldo SuperCera приведены в таблице 2.5 [17].

Таблица 2.5 – Характеристика литевых восков Castaldo SuperCera

Цвет	Характеристика	Пластичность	Заполняемость	Минимальная усадка	Минимальное оседание	Для больших плоских изделий	Для тонких или сложных изделий	Многоцелевой	Возможность резки
Голубой	Чрезвычайно пластичный, идеально подходит для филигрانی и сложных моделей, $T_{инж} - 74\text{ }^{\circ}\text{C}$	xxx	xxx	-	-	-	xxx	-	-
Оранжевый	Очень пластичный и легкотекучий, с минимальным оседанием, многоцелевой, рекомендуется для тонких изделий, $T_{инж} - 68\text{ }^{\circ}\text{C}$	xx	xx	x	-	-	xx	x	-
Красный	Универсальный, подходит для широкого спектра моделей, быстро застывает, средней пластичности, $T_{инж} - 74\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	x	xx	x	x	-	xx	x
Желтый	Твердый, незначительной пластичности, легкотекучий, с хорошей заполняемостью, почти без усадки и оседания, $T_{инж} - 76\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	-	xxx	xxx	xxx	x	-	xx
Зеленый	Пластичный, долго застывающий, с минимальной усадкой и оседанием, универсальный, $T_{инж} - 65\text{ }^{\circ}\text{C}$	x	xx	xxx	xx	xxx	xx	x	x

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

В настоящее время разработаны различные специализированные добавки и присадки, улучшающие работу с ювелирными восками. Ниже представлена характеристика растворителей для воска производства фирма Kerr [17].

Kerr Debubblizer – предназначен для снятия поверхностного напряжения с собранных в елку восковых моделей перед формованием. Обработка восковой елки этим растворителем обеспечивает снижение способности микропузырьков воздуха удерживаться на поверхности восковок во время заливки в опоку формомассы. Улучшает смачиваемость восковой поверхности формовочной массой, обеспечивая тем самым чистую, без пузырьков, гладкую поверхность литья, следовательно, позволяет сэкономить на операциях финишной обработки изделий.

Kerr Microfilm – предназначен для облегчения извлечения восковых моделей из резиновых пресс-форм путем нанесения на рабочую поверхность их полости, обеспечивает очистку рабочих поверхностей полости пресс-форм.

Kerr Super-Sep – применяется в технологии литья с камнями и предназначен для снижения поверхностного натяжения с целью облегчения отделения формомассы от ювелирных камней. Наносится на восковую елочку перед процессом формовки восковых моделей с закрепленными на них камнями.

Kerr Vacufilm – применяется для уменьшения поверхностного натяжения на границе восковая елка – формомасса при вакуумной и вибровакuumной обработке опок. Позволяет минимизировать количество воздушных пузырьков на поверхности восковок при формовке.

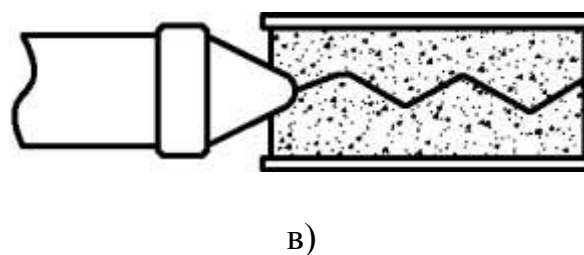
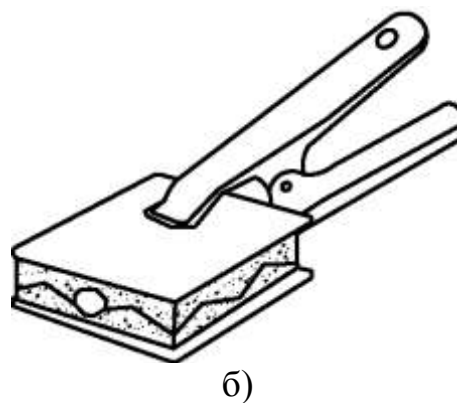
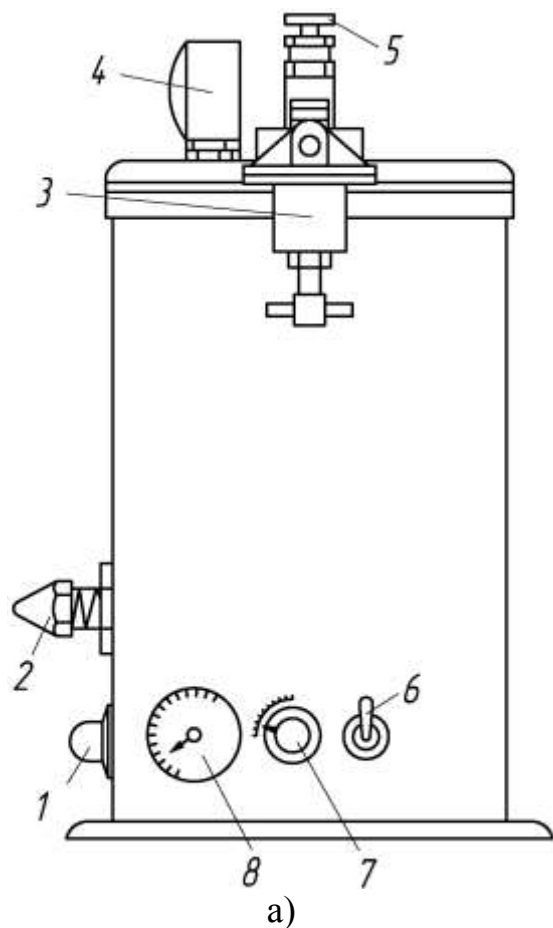
2.4.2 Инжекторы для изготовления восковых моделей. Технология изготовления восковок

Для литья воска под давлением (заполнения резиновой формы расплавленным воском) применяется устройство, называемое инжектором (рис. 2.15). Инжектор воска состоит из внешнего резервуара – корпуса, в котором размещается внутренний резервуар для воска. Полость между этими резервуарами заполняется трансформаторным маслом, подогреваемым электронагревателем. В верхней крышке резервуара размещается штуцер для нагнетания сжатого воздуха и создания в нем избыточного давления, а также вентиль для выпуска воздуха. Заполнение резиновой пресс-формы, которую помещают в зажим (рис. 2.15, б), происходит через инжекторное сопло (рис. 2.15, в) под действием сжатого воздуха, давление которого контролируется манометром, установленным на верхней крышке инжектора. Инжекторное сопло оснащено системой индивидуального обогрева до 50 °С. Скорость нагрева воска изменяется регулятором мощности, температура нагрева воска контролируется контактным термометром или термопарой, поддержание заданной температуры воска обеспечивается терморегулятором.

В условиях единичного производства вместо инжектора можно использовать многоразовый медицинский шприц, в который набирают расплавленный воск и выдавливают в резиновую форму.

Получение восковых моделей при использовании эластичных резиновых пресс-форм возможно только в случае соблюдения всех технологических параметров работы воскового инжектора. Рабочая температура воска в инжекторе должна соответствовать рекомендациям его изготовителя и при извлечении готовой восковки из пресс-формы должна быть не выше температуры теплоустойчивости данного инжекторного воска. Рекомендуемое давление в инжекторе, равное 19,6...98,0 кПа, варьируется в зависимости от сложности восковой модели. Если давление выше допустимого интервала, то происходит выдавливание облоя через края пресс-формы. Также это происходит, если пресс-форму плохо совместили или с недостаточной силой прижали её половины.

Технические характеристики типовых моделей восковых инжекторов приведены в таблице 2.6 [17].



*а – восковой инжектор; б – способ зажима пресс-формы;
в – сопло инжектора*

*1 – рукоятка регулятора мощности; 2 – инжекторное сопло; 3 - редуктор;
4 – манометр для контроля давления; 5 – предохранительный клапан (или
клапан для спуска воздуха); 6 – перекидной выключатель; 7 – рукоятка регу-
лирования обогрева сопла; 8 – циферблат автомата регулирования темпе-
ратуры нагрева воздуха*

*Рисунок 2.15 – Схема процесса изготовления выплавляемых моделей с помо-
щью воскового инжектора*

Таблица 2.6 – Типовые модели инжекторов воска и их технические характеристики

Модель инжектора	Внешний вид инжектора	Технические характеристики
Инжектор «ARBE», (США) с объемом рабочей камеры 2,8 л, аналоговый		<ul style="list-style-type: none"> - напряжение электропитания: 220 В; - максимальная температура: 121°C; - максимальное давление: 207кПа; - габариты: 500 x 300 x 300 мм; - масса: 12,1 кг; - нагревательные элементы выполнены из материала «керамика-слюда» в стальной оболочке; - выпускное сопло снабжено системой защиты от протечек; - регулируемый биметаллический термостат
Инжектор «KERR», (США) с объемом рабочей камеры 1,5 л, электронный		<ul style="list-style-type: none"> - напряжение электропитания: 220 В; - максимальная температура: 99°C; - точность поддержания температуры: 0,1°C; - габариты: 160 x 160 x 535 мм; - масса: 5,5 кг
Инжектор «MASTERWAX», (Италия) с объемом рабочей камеры 1,5 л, электронный, с редуктором		<ul style="list-style-type: none"> - напряжение электропитания: 220 В; - мощность: 210 Вт; - регулировка температуры: 50...85°C; - максимальное давление: 160 кПа; - рабочее давление: 80 кПа; - габариты: 205 x 220 x 510 мм; - масса: 8 кг

Технология изготовления восковок с помощью воскового инжектора представляет собой последовательность следующих общих операций:

- 1) заполнить плавильную камеру инжектора модельным составом на 3/4 объема;
- 2) включить инжектор и расплавить модельный состав;
- 3) установить регулятор температуры на необходимый режим – 62...75 °С, в зависимости от массы и ажурности восковок;
- 4) установить давление на клапане компрессора в пределах 0,10...0,12 МПа;
- 5) раскрыть резиновую пресс-форму и нанести на рабочую поверхность ее полости разделительный спрей;
- 6) собрать пресс-форму и сжать металлическими пластинами;
- 7) поднести пресс-форму к соплу инжектора и мягким нажатием в сопло заполнить ее модельным воском, затем плавно отвести пресс-форму;
- 8) охладить пресс-форму в течение 2...3 мин.;
- 9) раскрыть пресс-форму и извлечь из нее восковую модель;
- 10) зачистить полученную восковую модель от облоя и заусениц;
- 11) ножницами отрезать от питателя литниковую воронку.

При изготовлении модели стояка используют то же оборудование и модельный состав, что и для изготовления восковок. Порядок операций для получения модельного стояка следующий:

- 1) очистить металлическую пресс-форму для стояка от остатков воска;
- 2) собрать пресс-форму;
- 3) запрессовать пресс-форму модельным составом;
- 4) охладить пресс-форму и извлечь стояк.

2.4.3 Распространенные проблемы при производстве восковых моделей, их причины и способы устранения

Наиболее распространенные проблемы, возникающие при изготовлении восковых моделей ювелирных изделий, причины их возникновения, а также некоторые простые способы их устранения представлены в таблице 2.7 [16].

Таблица 2.7 – Распространенные проблемы при производстве восковых моделей с помощью инжекторов

Проблема	Причина появления	Способы устранения
1	2	3
Наличие в восковых моделях пузырьков воздуха	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточное количество воска в инжекторе; 2. Отклонение воска от оптимальной температуры (перегрев или охлаждение); 3. Плохая подгонка сопла инжектора и литниковой воронки пресс-формы; 4. Завышенное давление в инжекторе 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Добавить в инжектор воск; 2. Отрегулировать температуру воска; 3. Правильно установить форму или доработать литниковую воронку в пресс-форме; 4. Понизить давление в инжекторе
Неполное заполнение пресс-форм воском	<ol style="list-style-type: none"> 1. Давление инжектирования понижено; 2. Температура воска понижена; 3. Холодная пресс-форма; 4. Питатель в пресс-форме слишком тонкий; 5. Загрязненный инжектор 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличить давление инжектирования; 2. Увеличить температуру воска; 3. Подогреть пресс-форму при повторном использовании; 4. Использовать питатель в пресс-форме более широкого сечения; 5. Почистить инжектор и сопло
Чрезмерное заполнение пресс-форм воском	<ol style="list-style-type: none"> 1. Давление инжектирования слишком высокое; 2. Неправильное сжатие пресс-формы в зажиме; 3. Большой перегрев воска; 4. Длительное время инжектирования 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Понизить давление; 2. Правильно зажимать пресс-форму; 3. Изготовить новую пресс-форму и выполнить ее разрезку более острым инструментом; 4. Понизить температуру воска; 5. Сократить время инжектирования
восковка с повышенной липкостью и гибкостью	<ol style="list-style-type: none"> 1. Слишком раннее раскрытие пресс-формы; 2. Большой перегрев воска; 3. Перегретая пресс-форма 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличить время охлаждения; 2. Понизить температуру воска; 3. Увеличить время охлаждения пресс-формы перед повторным использованием
Повышенная усадка воска	<ol style="list-style-type: none"> 1. Большой перегрев воска; 2. Недостаточное давление; 3. Слишком короткое время инжектирования; 4. Слишком тонкий питатель; 5. Холодная пресс-форма; 6. Воск с повышенной степенью усадки 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Понизить температуру воска; 2. Увеличить давление инжектирования; 3. Увеличить время инжектирования; 4. Использовать питатель в пресс-форме более широкого сечения; 5. Подогреть пресс-форму перед повторным использованием; 6. Перейти на воск с более низкой усадкой
Плохое качество поверхности восковки (морщины)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пресс-форма слишком холодная; 2. Воск слишком холодный 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подогреть пресс-форму перед повторным использованием; 2. Повысить температуру воска

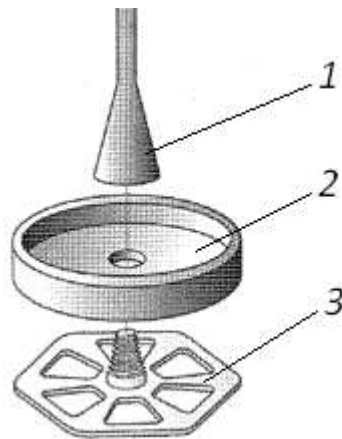
Продолжение таблицы 2.7

1	2	3
Плохое качество поверхности восковки (повышенная шероховатость, пористость)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Слишком низкое инъекционное давление; 2. Избыток разделительного спрея для извлечения восковки; 3. Избыток разделительного покрытия – талька; 4. Одновременное использования спрея и талька 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличить давление инъектирования; 2. Почистить пресс-форму и уменьшить количество спрея; 3. Почистить пресс-форму и уменьшить количество талька (добавить слой ткани на мешочек); 4. Почистить пресс-форму и использовать только спрей
Облой на восковках	<ol style="list-style-type: none"> 1. Слишком низкое инъекционное давление; 2. Неаккуратная разрезка пресс-формы; 3. Неправильное сжатие пресс-формы в зажиме; 4. Слишком горячий воск 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Понизить давление инъектирования; 2. Изготовить новую пресс-форму и выполнить ее разрезку более качественно; 3. Увеличить давление в зажиме; 4. Понизить температуру воска
Восковки ломаются при извлечении из пресс-формы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаточно спрея для извлечения; 2. Неправильное раскрытие пресс-формы; 3. Неправильная разрезка пресс-формы; 4. Длительное время охлаждения; 5. Использование хрупкого воска 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Использовать больше спрея; 2. Улучшить раскрываемость пресс-формы и способы извлечения восковки; 3. Изготовить новую пресс-форму и выполнить ее разрезку более качественно; 4. Сократить время охлаждения; 5. Перейти на более гибкий воск

2.5 Сборка восковых моделей в блоки

После изготовления восковых моделей в необходимом количестве, их собирают в блок, который с виду напоминает ствол дерева (центральный стояк) с ветками (восковые модели), поэтому часто, из-за внешнего сходства, блоки восковых моделей называют «елочками».

Для сборки восковых моделей в блок, ранее изготовленный модельный стояк закрепляют в резиновой подставке - основании и фиксируют собранную конструкцию на паяльном столике. Резиновая подставка, кроме основания тарельчатого типа, имеет специальное приспособление, к которому крепится конусная часть литникового стояка. Такая запатентованная схема сборки стояка с основанием, получившая название Newsprue [16] (рис. 2.16), обеспечивает легкое снятие резинового основания со стояка, уже заформованного в опоке, при этом исключается опасность появления трещин в формомассе возле литниковой воронки и основания стояка, что может привести к дефектам в отливках.



1 – модельный стояк; 2 – основание, 3 – приспособление для крепления стояка

Рисунок 2.16 – Схема сборки основания и стояка Newsprue

К модельному стояку предъявляются следующие требования:

- стояк должен быть достаточно толстым (диаметром 5...7 мм), чтобы жидкий металл смог свободно достичь тонких частей модельной полости, прежде чем затвердеет;
- стояк должен обеспечивать удобство крепления (припаивания) восковых моделей;
- стояк должен обеспечивать удаление воска при вытапливании моделей и отжиге форм;
- стояк должен обеспечивать свободное и без турбулентности перемещение расплава в модельную полость формы;
- стояк должен обеспечивать подпитку отливок в процессе их кристаллизации;
- стояк должен обеспечивать принцип направленного затвердевания расплава в форме, с этой целью стояк выполняют слегка суженным от противоположного литниковой воронке конца.

Сборку восковых моделей в «елочку» осуществляют путем соединения питателей восковок с центральным стояком под углом 45 °С помощью термощпателя или разогретого паяльника с плоским жалом. При пайке восковок расстояние между ближайшими точками моделей должно быть не менее 3 мм (рис. 2.17) [4].

Для пайки восковок в блоки с помощью электропаяльника выполняют следующие операции:

- 1) нагреть электропаяльник;
- 2) нагретый конец паяльника поместить между торцом питателя модели и стояком;
- 3) одновременно притронуться паяльником к питателю и стояку;
- 4) быстро убрать паяльник, а детали, которые паяются прижать друг к другу;
- 5) подождать пока воск застынет;

б) повторять операции 2...5 до полной сборки блока, при этом необходимо оставить свободным 10...20 мм высоты стояка у резинового основания, с целью предупреждения возможного образования недоливов (рис. 2.17).

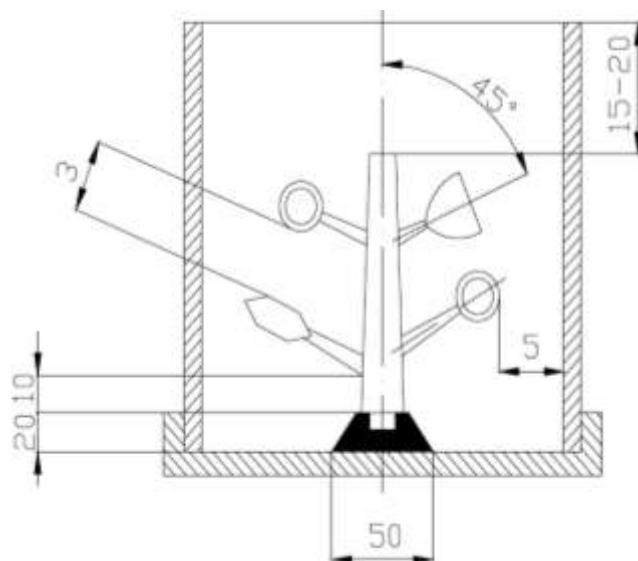


Рисунок 2.17 - Пример присоединения восковых моделей к стояку

В настоящее время для операций пайки восковых моделей в блоки применяют специальное оборудование – термошпатели. Характеристики типовых моделей термошпателей представлены в таблице 2.8 [17].

Таблица 2.8 - Типовые модели термошпателей для воска и их технические характеристики

Модель термошпателя	Внешний вид термошпателя	Технические характеристики
Термошпатель Rexant, аналоговый		<ul style="list-style-type: none"> - мощность паяльника: 8Вт; - напряжение питания: 12В; - габариты: 88 х 58 х 43 мм; - масса: 0,57 кг
Термошпатель SW-130, сенсорный		<ul style="list-style-type: none"> - мощность паяльника: 6Вт; - напряжение питания: 220В; - диапазон регулировки температур: 40...180°C; - время установления температуры: 1,5 мин; - в комплект входят 3 насадки

При изготовлении блока восковых моделей следует придерживаться ряда рекомендаций (табл. 2.9) [4].

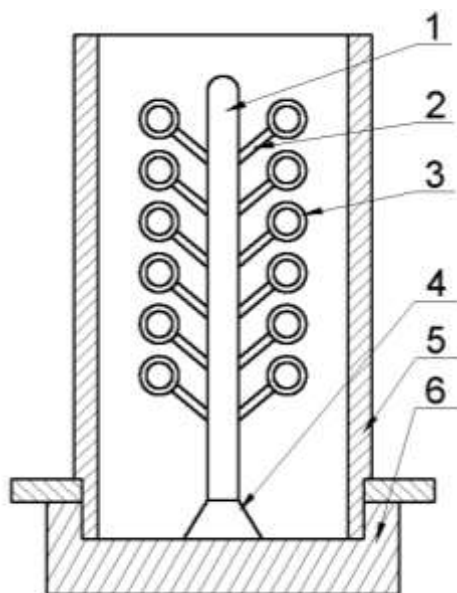
Таблица 2.9 – Основные рекомендации по сборке восковых моделей в блоки

Рекомендации	Причина
1. Блок восковых моделей необходимо собирать из восковок с приблизительно одинаковой толщиной стенок в сечениях.	При заливке металла в опоку необходимо устанавливать температуру заливки, в зависимости от толщины стенок восковок, т.е. для моделей с толстыми в сечении стенками температура заливки назначается меньше, чем для моделей с толстыми стенками.
2. Тонкие и толстые восковые модели различаются по их толщине стенок в сечении. Если есть необходимость изготовления отливок по толстым и тонким моделям в одной опоке, то тонкие модели следует размещать на вершине «елочки» и несколько ближе к стояку, а толстые модели закрепляют ближе к основанию стояка через более длинные питатели.	Огнеупорная смесь по краям опоки имеет более низкую температуру, чем в центре опоки, что является приемлемым для толстых моделей и нежелательно для тонких моделей.
3. Толстые восковые модели не должны размещаться в «елочке» своими большими развитыми поверхностями близко друг к другу. Необходимо устанавливать модели так, чтобы малые поверхности одних моделей располагались около больших поверхностей других.	В процессе заливки формы расплавом, большие поверхности, расположенные близко друг к другу, будут дольше остывать из-за взаимного теплового излучения. Это может привести к образованию пористости в отливках.
4. При изготовлении блока моделей восковки следует располагать под острым углом к стояку, как показано на рисунке 2.17.	Такое расположение облегчает вытапливание и выжигание воска, а также способствует плавной и последовательной заливке расплавленного металла по всем частям модельной полости.
5. Расстояние от вершушки литниковой чаши до нижнего ряда восковых моделей должно составлять не менее 10 мм (рис. 2.17).	Нижний ярус восковой «елочки», расположенный непосредственно у литниковой воронки, не всегда качественно заполняется жидким металлом (из-за нехватки гидростатического напора расплава на этом уровне), т.е. возможно образование недоливов.

В процессе сборки восковой «елочки» рядом с моделями изделий припаивают модели образцов-свидетелей (по два наверху и внизу стояка) для химического анализа. Далее восковую елочку обезжиривают, в основание резиновой подставки с елочкой вдевают опоку (рис. 2.18) и приступают к изготовлению литейной формы.

Предварительное обезжиривание восковой «елочки» перед заливкой в опоку формомассы производят с использованием специальных растворов, которые снижают поверхностное натяжение на поверхности восковых моде-

лей, например, Kerr Debubbler, Kerr Vacufilm. Также для этих целей можно применять спирт или мыльный раствор. Для приготовления мыльного раствора растворяют 7...8 г стирального порошка в 1 л воды. Обезжиривание проводят, опустив «елочки» в такой раствор. Затем елочки просушивают на воздухе с помощью фена.



1 – стояк; 2 – питатель; 3 – модель изделия (восковка); 4 – литниковая воронка; 5 – опока; 6 – резиновая подставка-основание

Рисунок. 2.18 – Схема блока восковых моделей – «елочки»

2.6 Изготовление литейных форм

В настоящее время технологические методы изготовления литейных форм процесса литья по выплавляемым моделям можно разделить на две основные группы [18]:

1) нанесение огнеупорных облицовочных (слоистых) покрытий на поверхность выплавляемых моделей, т.е. изготовление многослойных оболочковых форм;

2) заполнение жидкими облицовочно-наполнительными суспензиями опок с установленными в них модельными блоками, т.е. изготовление литейных форм-монолитов.

В обоих случаях процесс затвердевания слоев или монолитов протекает по коллоидно-химической схеме с аморфным, смешанным или кристаллическим состоянием вяжущих компонентов. Аморфное состояние характерно, главным образом, для органических связующих (сульфитно-спиртовой барды, масел, лаков и др.), смешанное состояние - для минерально-органических связующих (этилсиликата, жидкого стекла, алюминатов и др.), кристаллическое состояние - для минеральных связующих (гипса и цемента).

Используемая технология литья по выплавляемым моделям в формы, изготовленные последовательным нанесением на поверхность модельных блоков нескольких слоев огнеупорных покрытий на этилсиликатном или жидкостекольном связующем, не может быть использована при производстве ювелирных отливок из сплавов золота и серебра по ряду причин:

- слои огнеупорных покрытий на этилсиликатном или жидкостекольном связующем являются проницаемыми для сплавов золота и серебра в жидком состоянии, что приводит к недопустимо высоким потерям драгоценных металлов в процессе литья;

- операции выбивки отливок из огнеупорных форм на этилсиликатном или жидкостекольном связующем и очистки весьма мелких и сложных по конфигурации отливок из ювелирных сплавов слишком трудоемки, а в большинстве случаев осуществимы только путем травления в плавиковой кислоте, которая вредна для человеческого организма;

- огнеупорные формы на этилсиликатном или жидкостекольном связующем не обеспечивают необходимой и достаточно четкой воспроизводимости рельефа моделей на отливках вследствие плохой смачиваемости восковых моделей огнеупорными суспензиями на кремнийорганических связующих, а также из-за явления отслаивания сырых слоев оболочковых форм под собственным весом.

В современном ювелирном производстве используется процесс литья по выплавляемым моделям с применением кремнеземисто-гипсовых форм-монолитов, не имеющих вышеуказанных недостатков.

Качество литья ювелирных изделий во многом определяется свойствами применяемой формовочной смеси, технологией ее приготовления и условиями ее использования.

В основе технологии изготовления литейных форм-монолитов находятся физико-химические и технологические свойства формовочных смесей, которые состоят из двух основных составляющих – наполнителя и связующего и представляют собой следующее:

- суспензии из жидкой фазы – водного раствора с кислотными добавками;

- твердой фазы – наполнителя из огнеупорного материала (кварца, циркона, электрокорунда, оксидов магния и кальция, диоксида, шамота и др.);

- связующего (гипса, алюмосиликата, фосфатов и др.).

При изготовлении литейных форм-монолитов формовочная смесь проходит сложный цикл, состоящий из большого количества операций:

- приготовления и хранения смеси;

- изготовления, сборки и хранения формы;

- заливки металлом, охлаждения формы, отделения смеси при выбивке отливок.

Следовательно, формовочные смеси должны обладать следующими свойствами: текучестью, прочностью в сыром и обожженном состоянии, термостойкостью, газопроницаемостью, огнеупорностью, выбиваемостью, инертностью по отношению к заливаемым сплавам и др.

Если материал формы реагирует с заливаемым металлом, то образующиеся продукты реакций вызывают химический пригар и являются причиной брака отливок.

Если формы малопрочные, то они будут размываться заливаемым расплавом, вызывая брак отливок по геометрии формы, а отделившиеся при этом мелкие частицы формы будут являться причиной засоров в отливках.

Если формы обладают повышенной прочностью и жесткостью, то они будут трудно разбиваться, что повышает трудоемкость при выбивке отливок и также может привести к дефектам отливок.

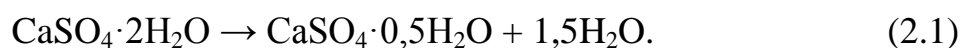
При литье в формы с низкой газопроницаемостью, находящиеся в форме воздух и газы, выделяющиеся из расплавленного металла, не смогут удалиться через стенки формы и приведут к внутренней пористости отливок и снижению качества поверхности.

2.6.1 Характеристика основных компонентов формовочных смесей для ювелирного литья

В настоящее время в технологии ювелирного литья используют готовые к применению формовочные смеси (массы, формомассы, формовочные материалы), как правило, зарубежного производства. Формовочные смеси представляют собой смеси порошков: кристобалита, тридимита, кварца, аморфного кремнезема, гипса или фосфатных соединений (для высокотемпературного литья), а также ряда специализированных добавок.

Связующий материал формомасс для ювелирного литья, предназначенный для объемного удерживания порошка огнеупорного наполнителя, образован из минерального гипса.

Природный минерал гипс образует осадочные породы значительного геологического возраста и кристаллизуется в виде призматической структуры, располагающейся слоями, которые удерживаются вместе молекулами воды. Таким образом, в исходном виде гипса представляет собой бигидрат ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). До использования в виде связующего материала минеральный гипс должен быть преобразован в полугидрат при помощи термической обработки:



Полугидрат ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) нестабилен и впитывает воду, снова образуя бигидрат, которым он являлся изначально, имеющий большую стабильность. Когда порошок формомассы добавляется в воду в процессе приготовления жидкой формовочной смеси, в ее объеме постепенно появляются переплетенные друг с другом кристаллы гипса – эти гипсовые сцепки и удерживают застывающую формомассу. При отверждении смеси на ее характеристики влияет наличие небольших добавок модификаторов, которые изменяют длину и форму кристаллических игл, которые образуют зародыши кристаллизации.

Можно контролировать скорость роста кристаллических зерен, добавляя замедлители, которые мешают росту кристаллов, либо ускорители, которые могут увеличить скорость, с которой полугидрат переходит в раствор, либо увеличить скорость образования бигидрата. В ювелирных формомассах можно влиять на скорость схватывания и конечную твердость смесей, изменяя отношение порошок – вода, температуру жидкого замеса, технику замеса.

Когда затвердевшая формомасса нагревается, в момент удаления воды, гипс значительно сжимается. Это сжатие особенно сильно при температурах от 300 °С до 450 °С, когда полугидрат преобразуется в ангидрит. Если бы для литья использовался только один гипс, то во время использования формы легко бы растрескивались и становились бы намного меньше, чем модельная полость. Для компенсации сжатия гипса и регулировки термического сжатия формы в ювелирных формомассах используется кремний.

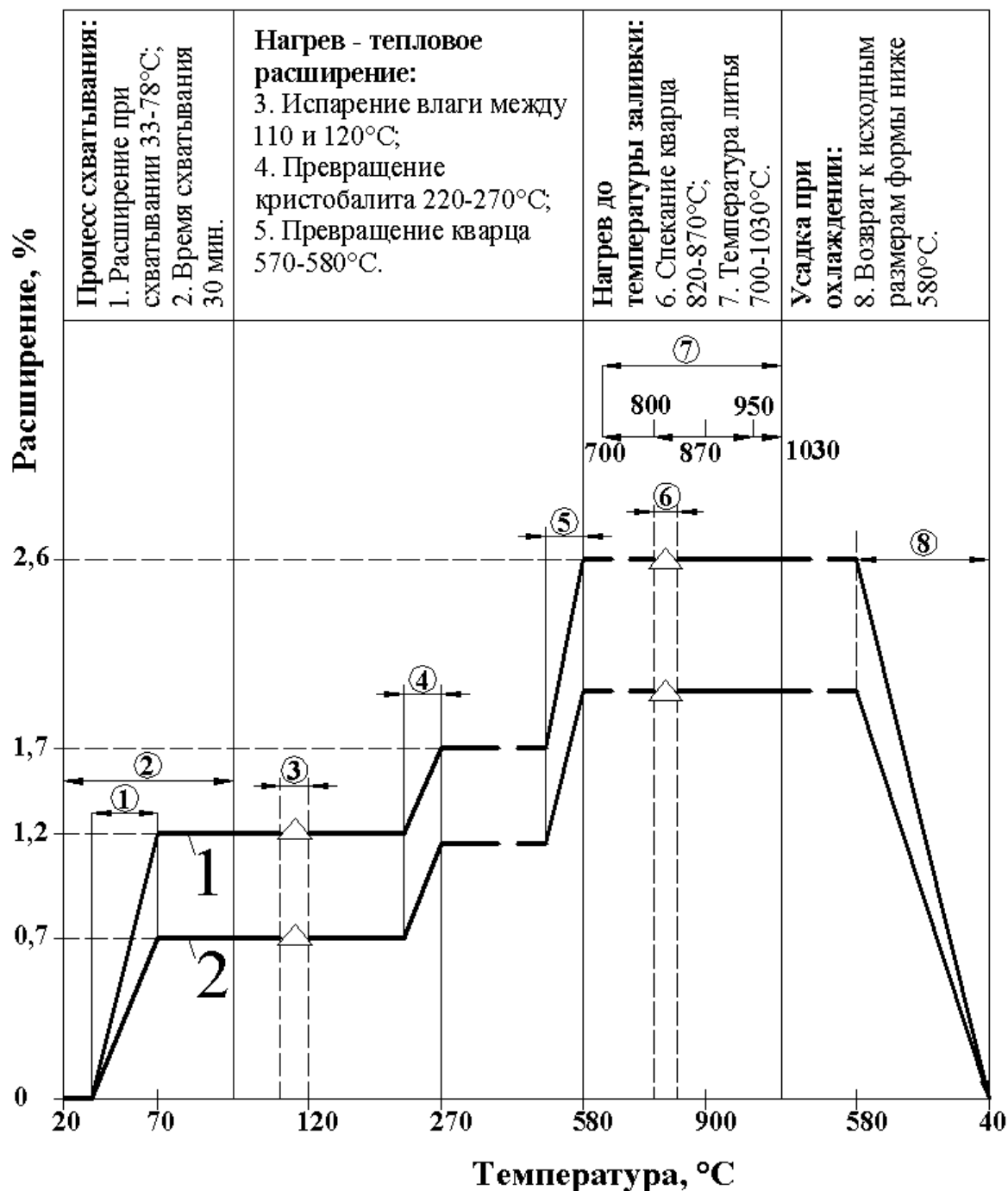
Кремний существует во многих кристаллических формах, используемых для приготовления формомассы. Наиболее легкодоступной является кварц, и его переход из одной фазы в другую, происходящий при 570...580 °С сопровождается увеличением объема. Крестобалит – это другой основной компонент формомассы, эта модификация кремния также значительно увеличивается в объеме при 220...270 °С, переходя из одной кристаллической структуры в другую. Эти две аллотропические формы кремния используются для компенсации сжатия связующего гипса. До 300 °С крестобалит вызывает расширение ювелирной смеси, а затем в интервале температур до 570 °С преобладает сжатие, вызываемое гипсом. Увеличение объема кварца при 570 °С снова компенсирует тепловое сжатие гипса.

Крестобалит – это минерал вулканической породы, его получают, нагревая кремнезем до 1472...1671 °С. Крестобалит в составе формомасс обеспечивает литейным формам устойчивость против растрескивания в процессе заливки расплавленного металла.

Кварц (кремнезем), как основной компонент формомассы, придает жесткость формовочной смеси в процессе спекания. Чем больше удельный вес кварца в смеси, тем жестче получается форма в процессе прокали. Спекание кварца происходит в интервале 820...870 °С и, если температура прокали поднимается выше (между 950 °С и 1000 °С), спеченный кварц всегда приобретает чрезмерную прочность.

На рисунке 2.19 представлены зависимости теплового расширения гипсо-крестобалитовых формомасс в зависимости от температуры нагрева [19]. Из данных рисунка 2.19 видно, что кварц, находящийся в составе в составе ювелирной формомассы, выполняет следующие основные функции:

- определяет изменение расширения формовочной массы при температуре от 570 °С до 580 °С (компенсирует термическое сжатие гипса);
- обеспечивает спекание формомассы между 820 °С и 870 °С;
- обеспечивает восстановление параметров литейной формы при охлаждении.



1 – концентрация кварца в формомассе 85%; 2 - концентрация кварца в формомассе 50%

Рисунок. 2.19 – Зависимость термического расширения ювелирной формомассы от температуры нагрева

Также становится очевидным, что после преобразования кварца при 580 °C формовочная масса больше не подвержена никаким последующим изменениям объема. Это важно для определения температуры нагрева, которой нужно достичь к моменту заливки. Форма должна быть прогрета до температуры не ниже 600 °C, так как иначе не будет компенсирована усадка.

Во время охлаждения формомасса снова проходит через фазу трансформации кремния, которая вызывает сжатие, равное и противоположное

предыдущему расширению, а сжатие гипса остается постоянным. При охлаждении кварц уменьшается в объеме примерно на 90 % в сравнении с расширением при нагреве, но только в том случае, когда вся формовочная смесь полностью прогрета до температуры спекания кварца. Точность дозирования количества кварца в формовочной массе позволяет достичь возвращения параметров полости литейной формы к исходным размерам при охлаждении и уменьшении объема формы.

После литья при последующем охлаждении залитой формы гипс становится очень хрупким и совместно с трещинами, вызванными сжатием из-за трансформации кремния во время охлаждения, обеспечивает легкое удаление формомассы из опоки.

Помимо гипса, кварца и кристоболита в формовочные смеси вводят добавки, которые изменяют время твердения формомассы, величину ее вязкости или текучести, влияют на окислительно-восстановительные процессы в литейной форме в процессе ее заливки металлом и кристаллизации отливок, оказывают содействие удалению пены и воздуха при подготовке формомассы путем вакуумирования.

Производители ювелирных порошковых формомасс стараются изготавливать простые смеси, изменяя основные компоненты и регулирующие добавки в небольших количествах и пропорциях, изменяя размеры частиц, задавая, таким образом, большой выбор формомасс. Состав формомасс и технология их изготовления является коммерческой тайной фирм-производителей. Примерный состав у большинства марок формомасс различных производителей примерно одинаковый: 70...80 % огнеупорный наполнитель, 20...30 % гипса и специальных добавок.

2.6.2 Выбор формомассы для ювелирного литья

При выборе типа и марки формомассы следует руководствоваться следующими требованиями, предъявляемыми к формовочным смесям для изготовления форм ювелирного литья [4]:

- формомасса должна выдерживать требуемые для выжигания модельного воска температуры (750...770 °С) и быть трещиноустойчивой при этих температурах;
- формомасса должна выдерживать температуру заливки металла (для сплавов золота около 1000 °С), а также динамический напор сплава, подаваемого в форму с большой скоростью;
- формомасса не должна содержать химически вредных веществ, которые могут привести к коррозии или окислению опоки или отливок;
- формовочная смесь должна обеспечивать быстрое и легкое извлечение отливок из опоки после литья.

В настоящее время на рынке существуют различные типы смесей на основе гипса, которые предназначены для широкого спектра применения (табл. 2.10). Качество формомасс зависит от многих факторов, таких как размер частиц, чистота материала, механическое сопротивление и газопро-

нищаемость формы: более дешевые виды формомасс содержат более грубую и менее чистую смесь.

Таблица 2.10 - Характеристики формомасс на основе гипса для различных видов литья

Вид литья	Характеристики формомассы			
	чистота материала	размер частиц	механическое сопротивление формы	газопроницаемость формы
высокотемпературные сплавы	оч. высокая	мелкий	среднее	высокая
качественное ювелирное литье из сплавов золота	высокая	мелкий	среднее	высокая
крупносерийное литье из сплавов золота и серебра	средняя	средний	среднее/низкое	высокая
крупносерийное литье из латуней	средняя	средний/крупный	среднее	средняя
художественное литье статуй	средняя	средний/крупный	высокое	средняя
ювелирное литье с камнями	высокая	средний	высокое	средняя
промышленное литье	средняя	крупный	очень высокое	средняя

Формомассы импортных производителей (табл. 2.11, [16]) характеризуются высокой химической чистотой составляющих компонентов – кристобалита, кварца и высокопрочного гипса. Крупность зерен порошка формомасс не превышает 100 мкм.

Таблица 2.11 – Марки формомасс для ювелирного литья импортного производства

Типы сплавов	Фирмы - производители формомасс			
	Kerrlab, США	Hoben International, Великобритания	Ransom & Randolph, США	SRS, Великобритания
1	2	3	4	5
Стандартные сплавы золота	Satin Cast 20, Kerrcast 2000, Supervest 20, Satin Cast regular	Gold Star Ultima, Gold Star XL, Gold Star 21, Gold Star Plus	Ultravest, Americast	Classik, Eurovest-standart, Eurovest-extra

Продолжение таблицы 2.11

1	2	3	4	5
Белое золото, платина	Platinite PT	Gold Star Ultima Platincast	Platinum, Astrovest	-
Литье с камнями	Satin Cast 20	Gemset	Solitaire	Stonecast

Характеристики формомасс, получивших наибольшую популярность в ювелирном литье, представлены в таблице 2.12 [4].

Таблица 2.12 – Характеристики формомасс для ювелирного литья

Марка формомассы	Описание марки	Основные характеристики
1	2	3
Kerrcast 2000	Применяется для работы с золотом и серебром. Позволяет легко отделять форму от отливок в холодной воде. Обеспечивает высокое качество поверхности литья.	- время работы: 9...10 мин.; - время затвердевания в опоке: 11...12 мин.; - время прокаливания: ≤ 6 ч.; - температура заливки: не более 1093 °С
Gold Star XL	Формомасса на гипсовой основе с содержанием кремнезема (71...75 %), сульфата кальция (24...28 %) и органических веществ (1 %).	- время работы: 7,5...9 мин.; - время затвердевания в опоке: 10...11 мин.; - время прокаливания: ≤ 6 ч.; - температура заливки: не более 1100 °С; - максимальная температура обжига: 740 °С.
Gold Star Ultima	Специально разработана для литья высокотемпературных сплавов, таких как благородное белое золото, сплавы платины и др. сплавы с температурой плавления до 1300 °С.	- время работы: 9...11 мин.; - время прокаливания: ≤ 6 ч.; - температура заливки: не более 1300 °С; - максимальная температура обжига: 850 °С.
Eurovest-standart, Eurovest-extra	Разработаны для повышения устойчивости к термоудару во время циклов нагрева-охлаждения. Имеют высокие прочностные характеристики, легко смачиваются и разводятся водой. Обеспечивает высокое качество поверхности литья.	- время работы: 8...9 мин.; - время затвердевания в опоке: 11...12 мин.; - время прокаливания: ≤ 6 ч.; - температура заливки: не более 1100 °С; - максимальная температура обжига: 750 °С.

Продолжение таблицы 2.12

1	2	3
Classik	Формомасса обладает большой технологической гибкостью, позволяющей изменять параметры литья. Подходит ко всем ювелирным сплавам. Легко удаляется после литья. Отливки имеют поверхности более высокой чистоты.	<ul style="list-style-type: none"> - время работы: 8...9 мин.; - время затвердевания в опоке: 10...12 мин.; - время прокаливания: ≤ 6 ч.; - температура заливки: не более 1100 °С; - объемный выход формомассы из 1 кг порошка: 795 мл.

В последнее время для литья с натуральными камнями были разработаны формовочные массы, которые позволяют защитить ювелирные камни от воздействия температуры и окислительной атмосферы. Примером таких смесей являются формомассы Stonecast и Satin Cast 20 (табл. 2.11). В состав этих смесей входят специальные добавки, предохраняющие камни от воздействия температуры во время отжига.

Характеристики смеси Stonecast:

- соотношение формомасса / вода: 100/38;
- рабочий цикл при 22 °С: 8...9 мин.;
- время первичного схватывания: 10...12 мин.;
- термическое расширение при 750 °С: 0,73 %;
- расширение через 2 ч. после схватывания: 0,45 %;
- объемный выход формомассы из 1 кг порошка: 795 мл.

Характеристики смеси Satin Cast-20:

- соотношение формомасса / вода: 100/40;
- содержание кристобалита: около 45 %;
- рабочий цикл при 22 °С: 9...10 мин.;
- время первичного схватывания: 11...12 мин.;
- время прокаливания: $\leq 4,5$ ч.;
- температура заливки: ≤ 1093 °С;
- защищает камни в отливке до температуры: 510 °С.
- обеспечивается высокая газопроницаемость формы, а следовательно, высокая скорость вакуумирования смеси;
- высокая прочность форм после прокаливания;
- наличие сверхмелкого зерна обеспечивает гладкую глянцевую поверхность полости формы.

Формовочная смесь – это самый «скоропортящийся» материал, используемый в процессе литья по выплавляемым моделям. Обычно срок годности порошка формомассы при условии правильного хранения составляет один год. Гипс, как связующий материал формомасс, является очень гигроскопичным и интенсивно поглощает влагу при контакте с влажной атмосфе-

рой, что приводит к потере его связующей способности. Поэтому формомассу всегда нужно хранить в сухих условиях, желательно в герметичном состоянии.

Перед использованием новой партии формомассы рекомендуется выполнить входной контроль ее качества, измерив время достижения состояния «без блеска» («gloss-off») [16]. Для этого необходимо налить в пластиковый стакан воду и добавить в нее формомассу в необходимых по инструкции пропорциях и далее включить секундомер. В течение рекомендуемого времени необходимо размешивать смесь стеклянной палочкой (приготовить шликер), а затем выполнять наблюдения за поверхностью шликера: в момент, когда смесь начнет схватываться, будет заметно изменение внешнего вида поверхности смеси – от яркого блеска до матовости. Время соответствующее этому переходу называется точкой состояния «без блеска». При наличии формомассы хорошего качества, при температуре воды 20°C эта точка должна наступить через 7...10 мин.

2.6.3 Выбор типа и размеров опок

Опоки, применяемые для изготовления форм ювелирного литья, представляют собой трубы из нержавеющей стали разного диаметра (от 50 до 225 мм) и разной высоты (от 100 до 300 мм) в зависимости от размеров блока восковых моделей. Пример такой опоки с габаритными размерами в свету: диаметром 75 мм и высотой 200 мм, представлен на рисунке 2.20.

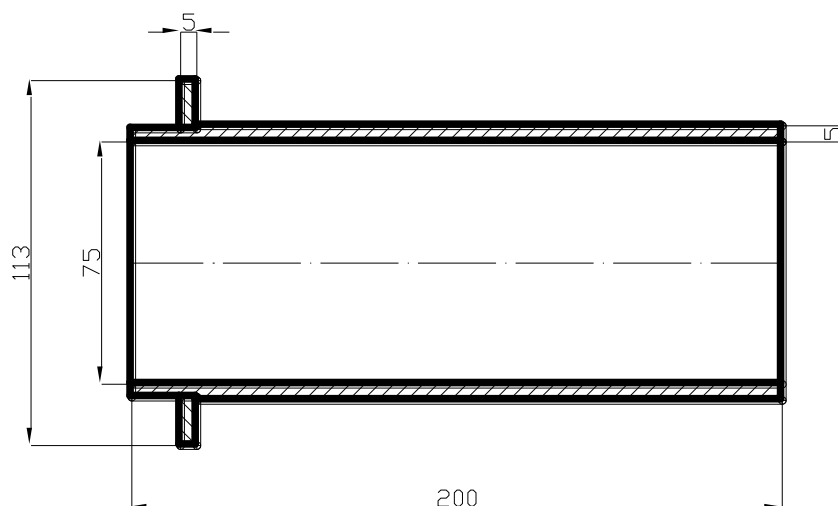


Рисунок 2.20 - Опока неперфорированная с фланцем Ø75 x 220 мм

Опоки для вакуумного литья имеют более сложную форму (рис. 2.21). На поверхности этих опок имеется множество отверстий (перфорация), благодаря которым происходит быстрое высыхание формомассы. Перфорированные стенки таких опок также обеспечивают всестороннее вакуумное всасывание расплава при литье и быстрое остывание краев опоки после заливки расплава.



Рисунок 2.21 - Опоки перфорированные для вакуумного литья

Перед использованием, опоки должны быть тщательно очищены от старой формомассы. Внутренние поверхности опок очищают от ржавчины с помощью железных щеток.

2.6.4 Технология приготовления формовочных смесей

Приготовление качественной формовочной массы оказывает решающее влияние на получение качественных отливок.

Для приготовления водной суспензии формомассы рекомендуется принимать соотношения «порошок – вода» 100/38 (для обычного литья) или 100/40 (для тонкостенных, филигранных изделий). Это означает, что для приготовления суспензии следует 100 г порошка формомассы смешать с 38 или 40 мл воды соответственно (табл. 2.13). Воду необходимо использовать дистиллированную. Температура суспензии при ее приготовлении должна быть около 20 °С.

Таблица 2.13 – Рекомендуемые пропорции компонентов для формомасс [4]

Размер опоки (Д x В), мм	Пропорция 100/38		Пропорция 100/40	
	порошок, г	вода, мл	порошок, г	вода, мл
75x75	510	194	510	204
75x100	680	258	680	272
75x125	850	323	850	340
100x100	1020	388	1020	408
100x150	1590	604	1590	636
100x200	2050	779	2050	820

После дозирования компонентов смеси воду выливают в специальную резиновую чашу и далее в воду добавляют необходимое количество порошка формомассы. Это правило очередности смешивания компонентов формомассы необходимо строго соблюдать. Далее порошок с водой необходимо перемешать вначале вручную, а затем с помощью миксера до получения однородной суспензии. Общее время смешивания должно составлять 2...4 мин. При смешивании порошка формомассы с водой необходимо учитывать время схватывания смеси (время от момента начала смешивания порошка с водой до момента начала затвердевания) – среднее время схватывания для большинства формомасс составляет 9...11 мин.

Следует знать, что воздух в виде пузырьков (диаметром от 0,5 до 6 мм) неизбежно попадает в формовочную смесь при ее замешивании. Поднимаясь вверх при заливке опоки, воздушные пузырьки прилипают к восковым моделям в тех местах, где их выход затруднен (поднутрения на поверхности моделей, места соединения питателей с моделью и стояком). Если не избавиться от воздуха в смеси путем ее соответствующей обработки, то адсорбированные на поверхности восковок пузырьки воздуха будут способствовать образованию на отливках дефектов в виде шаровых наплывов.

С целью удаления воздуха из свежеприготовленной суспензии, ее вместе с емкостью (резиновой чашей) помещают под вакуумный колпак, т.е. производят вакуумную обработку. Вакуумирование проводят до остаточного давления 1400 Па в течение 2...3 мин. При вакуумировании суспензии, воздух из колпака удаляется за счет разрежения. Когда давление воздуха над емкостью значительно понизится, суспензия начнет кипеть при комнатной температуре, что обеспечит протекание процесса дегазации формовочной смеси.

Далее, подготовленную таким образом суспензию, необходимо аккуратно залить в опоку с блоком восковых моделей. Заливку суспензией необходимо производить по бокам опоки (чтобы не поломать восковки и питатели) до тех пор, пока она не поднимется немного выше верха модельного блока.

Опоки, залитые суспензией, помещают под вакуумный колпак, установленный на вибрационном столе, т.е. производят вибровacuумную обработку суспензии. Вибрация и одновременное вакуумирование обеспечивают смеси полное обтекание поверхности воскового блока моделей, а также практически полное удаление пузырьков воздуха. Схема способа вибровacuумной обработки формовочной суспензии показана на рисунке 2.22, а схема установки для вибровacuумирования – на рисунке 2.23 [20].

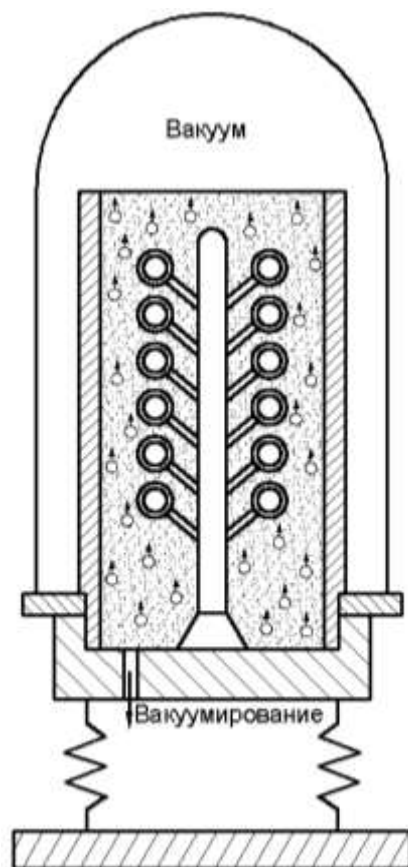
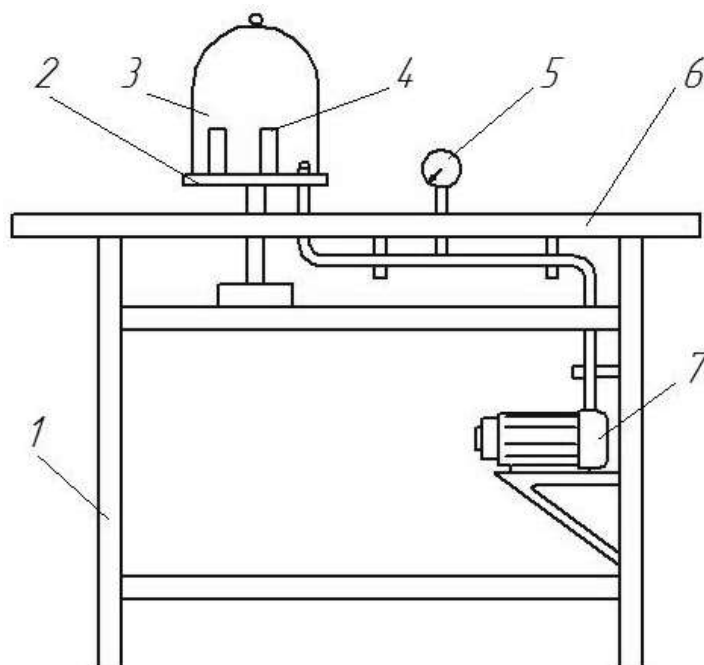


Рисунок 2.22 – Схема вибровакuumной обработки опок с формовочной суспензией



1 – стойка; 2 – дисковый стол камеры с вибратором; 3 – стеклянный колпак; 4 – вакуумируемые опоки; 5 – манометр; 6 – рабочий стол; 7 – вакуумный насос

Рисунок 2.23 – Схема установки для вибровакuumирования

Продолжительность процесса вибровacuумной обработки опок с суспензией должна составлять от 1 до 2 мин. при разрежении 1400 Па. В течение этого времени суспензия сильно поднимается, затем оседает и начинает кипеть. Чтобы избежать вытекания суспензии через края опоки, целесообразно в ходе вибровacuумной обработки устанавливать на опоку съемные воротнички высотой от края опоки 2,5...3 см.

2.6.5 Вибровacuумные смесители

Сравнительно до недавнего времени, в ходе приготовления формовочных суспензий, формомассу добавляли в воду и перемешивали на открытом воздухе, в результате чего смесь дополнительно насыщалась пузырьками воздуха, удаление которых осуществлялось лишь в процессе последующей вибровacuумной обработки в течение непродолжительного времени.

Полное удаление газов в процессе перемешивания компонентов формомассы возможно только при использовании установок, обеспечивающих дегазацию из формовочной суспензии при ее перемешивании, а операции перемешивания и заливки в опоки при этом выполняются под вакуумом. Таким оборудованием являются вибровacuумные установки, широко представленные в настоящее время итальянской фирмой CIMO, серии St. Louis. Технические характеристики основных моделей вибровacuумных смесителей St. Louis представлены в таблице 2.14.

Смесители St. Louis имеют следующие функциональные возможности:

- обеспечивают полную дегазацию формовочной массы и воды;
 - обеспечена возможность регулирования скорости вращения лопастей миксера в зависимости от типа формомассы;
 - обеспечена возможность регулирования времени перемешивания компонентов смеси, возможность сохранения данных в памяти установки (кроме модели St. Louis 92);
 - точное, быстрое и удобное дозирование воды с помощью мерной колбы в рекомендуемом соотношении вода / формовочная масса - 40/100;
 - обеспечена возможность регулирования интенсивности вибрации в вакуумной камере для опок;
 - прозрачность корпуса смесеприготовительной камеры позволяет контролировать процесс смешивания формомассы;
 - стол для опок может вращаться в обоих направлениях для облегчения заливки опок и их извлечения;
 - реализована возможность легкой и быстрой промывки съемной смесеприготовительной камеры;
- Технико-экономические преимущества смесители St. Louis:
- благодаря автоматизации некоторых операций при формовке экономится время и повышается производительность труда оператора;
 - за счет полной дегазации формомассы и качественного перемешивания обеспечивается высокое качество поверхности отливок, что уменьшает

потери драгметаллов и снижает рабочее время на этапе финишной обработки изделий;

- снижение расхода формомассы благодаря точному дозированию компонентов;

- компактность габаритов установок обеспечивает рациональное использование имеющихся производственных площадей;

- обеспечивается значительное снижение себестоимости изделий.

Общий цикл изготовления литейной формы в вибровакuumных смесителях St.Louis составляет в среднем 10 мин. (рис. 2.24):

- с 1-й по 5-ю минуты - смешивание порошка и воды и первичное вакуумирование формомассы;

- с 6-й по 8-ю минуты - заполнение формомассой опоки с модельными блоками и повторное вакуумирование опоки с одновременной вибрационной обработкой;

- 9-я минута – схватывание формомассы;

- 10-я минута – исчезновение глянца с поверхности формомассы в опоке, т.е. начало высыхания формомассы;

- начиная с 10-й минуты, опоки извлекают из вакуумной камеры установки и оставляют в покое на открытом воздухе на 1 час.

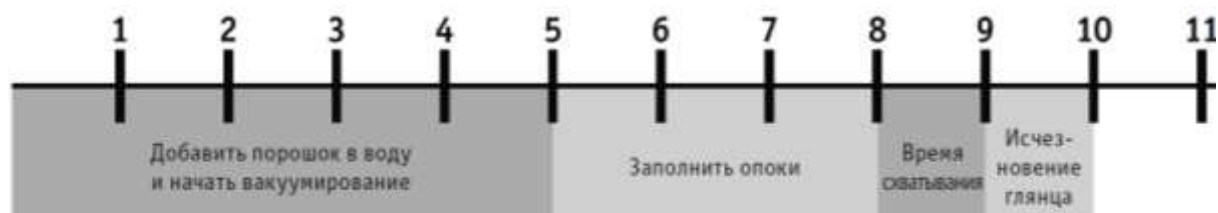


Рисунок 2.24 - Временной цикл получения литейной формы с помощью вибровакuumного смесителя St. Louis

Порядок выполнения технологических операций для изготовления литейных форм с помощью вибровакuumного смесителя St. Louis:

- 1) блок моделей с резиновым основанием поместить в перфорированную опоку;

- 2) на опоку надеть резиновый рукав (с целью исключения протекания формовочной суспензии через перфорацию в опоке на начальных стадиях процесса);

- 3) взвесить необходимое количество формовочной массы и отмерить необходимое количество воды;

- 4) залить воду в дозатор смесителя и включить перемешивание;

- 5) постепенно добавляя формовочную массу в смеситель приготовить сметанообразную суспензию;

- 6) накрыть дозатор смесителя герметичной крышкой и выполнить первичное вакуумирование формовочной массы в течение 2 мин.;

7) открыть краны подачи смеси и заполнить опоки смесью и выполнить повторное вакуумирование опок с одновременной вибрацией в течение 3 мин.;

8) выдержать опоку в вакуумной камере еще 1 мин.;

9) извлечь опоки из вакуумной камеры и оставить их в покое на открытом воздухе на 1 час;

10) извлечь из опок резиновое основание и снять резиновые рукава;

11) выполнить подрезку литниковой чаши;

12) заформованные опоки загрузить в муфельную печь, в которой будут выполнены операции вытапливания модельного состава и прокаливание форм.

Вибровакуумные смесители St. Louis 2000-й серии (табл. 2.14) характеризуются повышенной производительностью и рядом автоматических функций:



- автоматическая последовательность всех выполняемых операций;
- вычисление и наполнение необходимого количества воды для смешиваемого количества порошка формомассы в соответствии с необходимой концентрацией, выбранной оператором (от 36 до 40 %).
- автоматическое смешивание, включающее восемь фаз, с четырьмя различными и обратимыми скоростями для достижения формовочной суспензии высокой степени однородности;
- автоматический и непрерывный контроль интенсивности вакуумирования для поддержания требуемых ограничений;
- автоматическое мытье чаши миксера для ускорения процесса чистки и нового цикла загрузки.

Единственная функция, которая остается ручной, это заполнение цилиндра для воды. Аппарат способен автоматически каждый раз определять фактически необходимое количество воды, обрабатывая сигнал, полученный во время взвешивания порошка на электронных весах.

Таблица 2.14 – Технические характеристики вибровакuumных смесителей St. Louis, CIMO (Италия) [21]

Модель смесителя	Внешний вид смесителя	Технические характеристики
Вибро- вакуумный смеситель St. Louis 92/4		<p>Вибровакuumный смеситель:</p> <ul style="list-style-type: none"> - напряжение электропитания: 220 В; - потребляемая мощность: 1,2 кВт; - максимальный размер опоки с башмаком: Ø170x220 мм; - загрузка: 1 опока; - емкость формомассы: 4 кг; - диаметр вибростола: 180 мм; - габариты: 280x350x1000 мм; - масса установки: 23 кг. <p>Двигатель привода венчика:</p> <ul style="list-style-type: none"> - мощность: 50 Вт; - скорость вращения: 3000 об/мин. <p>Функциональность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - подходит вакуумный насос: 6 м³/час; - регулируемая скорость смешивания; - заливка формомассы в полном вакууме; - регулируемая скорость вибрирования; - подача воды под вакуумом; - наличие встроенного таймера.
Вибро- вакуумный смеситель St. Louis 82/5		<p>Вибровакuumный смеситель:</p> <ul style="list-style-type: none"> - напряжение электропитания: 220 В; - потребляемая мощность: 2,2 кВт; - максимальная высота опоки с башмаком: 220 мм; - загрузка: 3 опоки; - емкость формомассы: 5 кг; - диаметр вибростола: 290 мм; - габариты: : 420x420x1100 мм; - масса установки: 46 кг. <p>Двигатель привода венчика:</p> <ul style="list-style-type: none"> - мощность: 270 Вт; - скорость вращения: 2800 об/мин. <p>Функциональность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - подходит вакуумный насос: 18 м³/час; - регулируемая скорость смешивания; - заливка формомассы в полном вакууме; - регулируемая скорость вибрирования; - подача воды под вакуумом; - наличие встроенного таймера; - реверс двигателя.

Продолжение таблицы 2.14

<p>Модель смесителя</p>	<p>Внешний вид смесителя</p>	<p>Технические характеристики</p>
<p>Вибро- вакуумный смеситель St. Louis серии 2000</p>		<p>Вибровакуумный смеситель:</p> <ul style="list-style-type: none"> - напряжение электропитания: 220 В; - потребляемая мощность: 2,2 кВт; - максимальная высота опоки с башмаком: 200 мм; - загрузка: 5 опок; - емкость формомассы: 10 кг; - диаметр вибростола: 330 мм; - габариты: 620х650х1650 мм; - масса установки: 195 кг. <p>Функциональность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - подходит вакуумный насос: 50 м³/час.
<p>Вибро- вакуумный смеситель St. Louis се- рии 2000 XL</p>		<p>Вибровакуумный смеситель:</p> <ul style="list-style-type: none"> - напряжение электропитания: 220 В; - потребляемая мощность: 2,2 кВт; - максимальная высота опоки с башмаком: 200 мм; - загрузка: 6 опок; - емкость формомассы: 14 кг; - диаметр вибростола: 350 мм; - габариты: 620х650х1650 мм; - масса установки: 200 кг. <p>Функциональность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - подходит вакуумный насос: 50 м³/час.

2.7 Вытапливание воска и отжиг литейных форм

После выдержки заформованных литейных форм (не менее 1 часа) их устанавливают в специальные сушильные шкафы, предназначенные для удаления воска.

Для выплавки воска форма устанавливается в сушильный шкаф в положении – литниковой воронкой вниз. Выплавление воска производят при температурах 100...150 °С. По мере расплавления, воск вытекает из литейной формы и концентрируется в нижней части шкафа на поддоне. Далее по системе специальных патрубков воск собирается в емкости для фильтрации и повторного использования. Все шкафы, предназначенные для удаления воска, снабжают системой терморегулирования. Необходимое время для удаления воска – от одного до нескольких часов.

Нарушение режима вытапливания воска резко снижает его реологические свойства, что имеет большую важность при повторном использовании воска. С целью сохранения реологических свойств модельных восков сушильные шкафы вакуумируют.

В процессе вытапливания воска до 50% его массы остается в модельной полости и в порах стенок литейных форм-монолитов. Использование пара для более полного удаления воска (паровые воскотопки) приводит к ухудшению свойств модельного воска из-за омыления, а также снижению прочности гипсовой формы и ее газопроницаемости [16]. Вытопку паром не следует применять при литье с камнями, поскольку формомассы, используемые для этих целей, содержат защитную добавку для камней – борную кислоту, которая под действием пара растворяется и удаляется и, следовательно, не может больше выполнять свою защитную функцию.

После предварительного вытапливания воска производят высокотемпературный отжиг литейных форм. Назначение отжига форм перед заливкой расплавом:

- окончательное удаление органических составляющих в форме (остатков модельного воска);
- обеспечение определенной прочности литейной формы, необходимой для принудительной ее заливки расплавом, например, вакуумным всасыванием или центробежным способом;
- нагрева литейной формы до температуры достаточной для заполнения ее рабочей полости (для обеспечения высокой жидкотекучести расплава).

В цикле отжига форм имеются две критические точки. Первая точка находится в интервале температур 100...120°С, когда испаряются абсорбированная вода и часть кристаллогидратной воды гипса. Это медленный процесс, сопровождающийся усадкой формы. Поэтому температуру следует повышать медленно, чтобы исключить образование напряжений в формомассе, которые могут привести к появлению трещин в форме с после-

дующим проникновением в них расплава. Вторая критическая точка находится при температурах 220...270 °С, когда α -кристобалит преобразуется в β -кристобалит, что сопровождается увеличением объема формы. В этом случае температуру следует поддерживать постоянной в течение достаточного времени, чтобы обеспечить равномерность этого превращения во всем объеме формы.

В настоящее время используются прокалочные печи, в которых последовательно реализуются процессы вытапливания воска и высокотемпературного отжига форм. При вытапливании воска в такой печи рекомендуется помещать в нее опоки с предварительным разогревом до 150 °С. При температуре от 90...100 °С большая часть воска расплавится и вытечет через литниковую воронку на поддон печи. Пар, образующийся в результате нагрева влажной формомассы, способствует удалению воска из модельных полостей формы. Оставшаяся часть воска при последующем нагревании до 550 °С сгорает с образованием сажистого углерода. При дальнейшем повышении температуры до 750 °С сажа окисляется кислородом воздуха с образованием газа CO_2 и, таким образом, полностью удаляется из полости формы.

При вытапливании воска и отжиге опок необходимо пользоваться следующими правилами [4]:

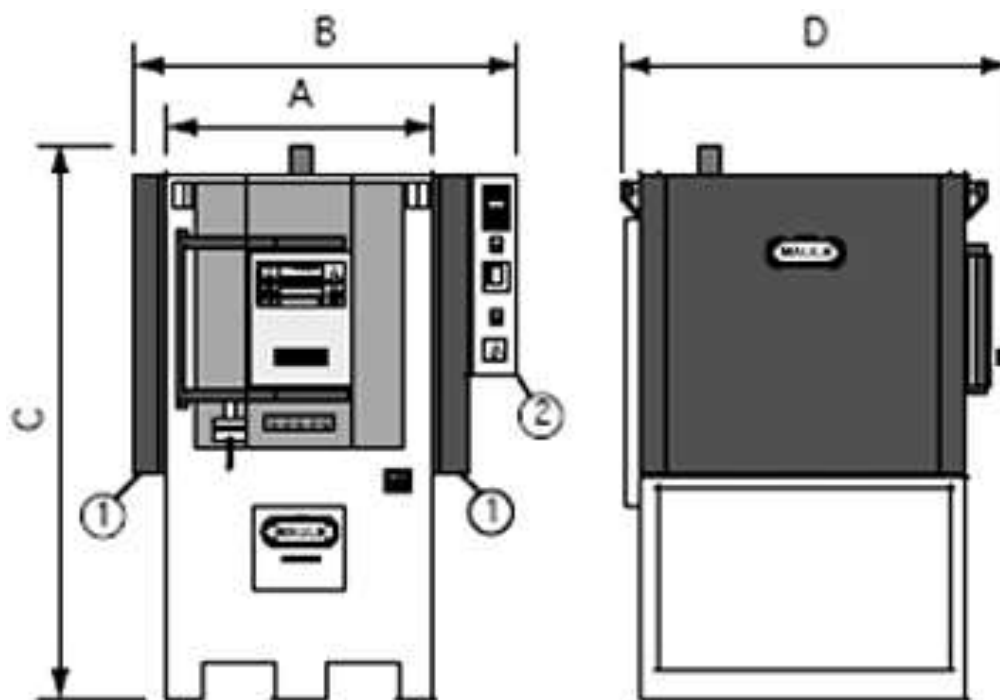
1. Нельзя долго хранить залитые формомассой опоки в холодной печи. Если есть необходимость продолжительного хранения заформованных опок, то их следует заворачивать в мокрую ткань. Если формомасса высохнет, то при вытапливании воска из опоки он будет впитываться в ее поры. Если форма будет не пересушенной, то пар, образующийся в формомассе из воды при ее нагревании до 100 °С и выше, будет способствовать удалению воска со стенок полости формы.

2. При выплавлении воска из формы опоку необходимо медленно прогревать до 200 °С. В противном случае, если прогревание провести быстро, то пар, образующийся в модельных полостях, будет расширяться быстрее, чем выходить через литниковую воронку, что может привести к деформации отдельных тонких частей полости формы и, следовательно, к дефектам на отливках.

3. Рабочее пространство печи, в которой производится отжиг опок, должно вентилироваться. Вентиляция необходима, поскольку часть воска, которая пропиталась и осталась в формомассе, превращается при отжиге в сажу, а затем в газ CO_2 , который удаляется через литниковую воронку в рабочее пространство печи.

4. Нельзя нагревать опоку выше 800 °С. При нагреве выше 800 °С в форме происходит разрушение гипсовой связки с выделением газообразных соединений серы SO_2 и SO_3 . Если заливку провести при температуре 800 °С и выше, то изменятся цвета отливок. Кроме того, металл, залитый в перегретую форму, будет медленней остывать, что может привести к пористости и ухудшению чистоты поверхности отливок.

В современной ювелирной отрасли для отжига форм широко применяются прокалочные электрической печи, которые удобны в эксплуатации и имеют возможности регулировки времени отжига и температуры. Примером таких печей являются нагревательные установки фирмы MAULE, Италия (рис. 2.25) [22].



1 – съемные боковые теплоизолирующие крышки;

2 – панель управления; A, B, C, D – габаритные размеры

Рисунок 2.25 – Схема общего вида печи MAULE для прокалки опок

Печи фирмы MAULE имеют следующие конструктивные особенности и функциональные возможности:

- печь сконструирована таким образом, что боковые изолирующие крышки и контрольная панель могут быть легко демонтированы (смонтированы), обеспечивая прохождение печи для установки в узкие проходы;
- термоизоляция обеспечивает низкую термическую инертность, минимальные потери тепла;
- используются энергосберегающие трубчатые нагревательные элементы с круговой эффективностью;
- оснащена недеформируемым столом для опок с усиленной конструкцией, позволяющей обеспечить максимальную загрузку опоками;
- оснащена стальным резервуаром для сбора воска, размещенным под столом, с обогреваемым трубопроводом для сбора воска;
- оснащена автоматической заслонкой, установленной на вытяжной трубе, открываемой в начале отжига и закрываемой при наборе максимальной температуры, что позволяет во время первой фазы выпускать все

дымы и обеспечивать во время второй фазы однородность температуры и экономию электроэнергии;

- наличие программатора рабочего цикла обеспечивает возможность задания нескольких программ режимов проковки;

- малый размер рабочей двери обеспечивает, с одной стороны, достаточно простое размещение и извлечение опок, а, с другой стороны, защиту оператора от действия сильного источника тепла;

- обеспечивается максимальная однородность проковки опок;

- обеспечивается быстрое охлаждение рабочей камеры (с 750 °С до 100 °С за 2 часа), позволяющее после примерно двух часов после проковки осуществить новую загрузку печи.

Печи MAULE производятся в двух конструктивных исполнениях:

- 1) серия RBF с круглым вращающимся рабочим столом (рис. 2.26, табл. 2.15);

- 2) серия FCC с прямоугольным рабочим столом (рис. 2.27, табл. 2.16).



*Рисунок 2.26 – Общий вид печи MAULE серии RBF
(с круглым вращающимся рабочим столом)*

Таблица 2.15 – Технические характеристики печей MAULE серии RBF

Модель	Емкость опок			Диаметр стола, мм	Внешние габариты, мм				Мощность, кВт	Масса, кг
	кол-во, шт.	диаметр, мм	высота, мм		A	B	C	D		
RBF 360 WDE	8	100	300	360	650	-	1650	900	5	250
RBF 430 WDEP	12	100	300	430	6600	820	1700	990	7	320
RBF 550 WDEP	20	100	300	550	850	1240	1750	1330	10	560
RBF 650 WDEP	30	100	300	650	990	1360	1840	1480	12	730
RBF 750 WDEP	38	100	300	750	1050	1440	1840	1540	15	755



*Рисунок 2.27 – Общий вид печи MAULE серии FCC
(с прямоугольным рабочим столом)*

Таблица 2.16 – Технические характеристики печей MAULE серии FCC

Модель	Емкость опок			габариты стола, мм	Внешние габариты, мм				Мощность, кВт	Масса, кг
	кол-во, шт.	диаметр, мм	высота, мм		A	B	C	D		
FCC 8 WD	8	100	300	250x410	-	650	1760	1200	4	230
FCC 20 WD	20	100	300	440x510	780	1100	760	1330	6	320
FCC 30 WD	30	100	300	550x620	850	1240	1760	1360	9	500
FCC 40 WD	42	100	300	670x730	990	1370	1850	1360	15	650
FCC 50 WD	49	100	300	740x760	1050	1450	1850	1520	18	690

Варианты размещения опок на рабочих столах печей MAULE различных марок и серий представлены в таблицах 2.17 и 2.18 [22].

Таблица 2.17 – Варианты размещения опок на рабочих столах печей MAULE серии FCC

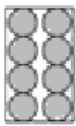
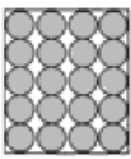
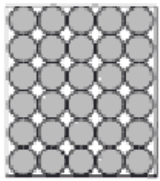
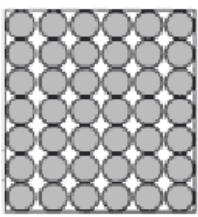
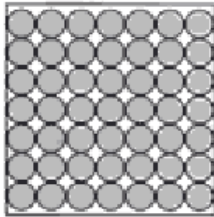

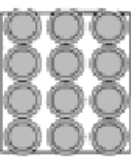
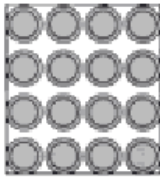
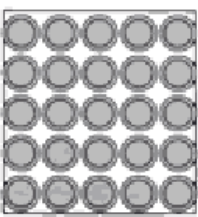
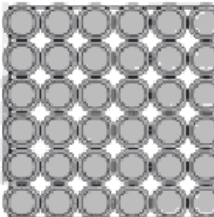



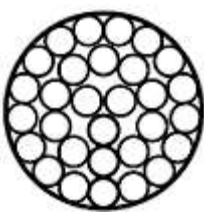
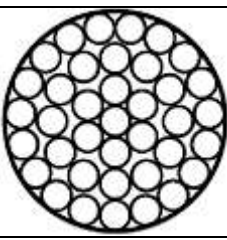
FCC 8 WD	FCC 20 WD	FCC 30 WD	FCC 40 WD	FCC 50 WD
				
размещение опок Ø100x300 без фланцев				
				
размещение опок Ø100x300 с фланцами				

Таблица 2.18 – Варианты размещения опок на рабочих столах печей MAULE серии RBF

RBF 360 WDE	RBF 430 WDEP	RBF 550 WDEP	RBF 650 WDEP	RBF 750 WDEP
				
размещение опок Ø100x300 без фланцев				

Для отжига форм в программируемых печах с большими объемами рабочих камер, в которых помещаются 30...50 опок, рекомендован следующий режим [4]:

- 1) выдержка в печи в течение 1 часа при температуре вытапливания воска 120 °С;
- 2) нагрев в течение 1 часа до температуры 320 °С;
- 3) нагрев в течение 1 часа до температуры 540 °С;
- 4) нагрев в течение 1 часа до температуры 730 °С;
- 5) выдержка в печи в течение 2 часов при температуре 730 °С;
- 6) снижение температуры в течение 1 часа до температуры 620 °С;
- 7) снижение температуры в течение 2 часов до требуемой температуры литья.

В таблице 2.19 приведены рекомендуемые [4] режимы отжига формомасс Kerrlab.

Таблица 2.19 – Рекомендуемые режимы отжига формомасс Kerrlab в зависимости от размеров опок

Габариты опок, мм	Общая длительность цикла, мин.	Режим отжига
Ø64x64	6	1) предварительный нагрев печи до температуры 200 °С; 2) выдержка 1 час при температуре 200 °С; 3) нагрев и выдержка 2 час при температуре 370 °С; 4) нагрев и выдержка 2 часа при температуре 730 °С; 5) снижение 1 час до температуры (для тонких филигранных изделий) 540 °С.
Ø90x100	8	1) предварительный нагрев печи до температуры 200 °С; 2) выдержка 2 часа при температуре 200 °С; 3) нагрев и выдержка 2 часа при температуре 370 °С; 4) нагрев и выдержка 3 часа при температуре 730 °С; 5) снижение 1 час до температуры (для тонких филигранных изделий) 540 °С; (для толстых изделий) 480 °С.
Ø100x200	12	1) предварительный нагрев печи до температуры 200 °С; 2) выдержка 2 часа при температуре 200 °С; 3) нагрев и выдержка 2 часа при температуре 320 °С; 4) нагрев и выдержка 2 часа при температуре 480 °С; 5) нагрев и выдержка 4 часа при температуре 730 °С; 6) снижение 2 часа до температуры (для тонких филигранных изделий) 540 °С; (для толстых изделий) 480 °С.

Для формомассы Satin Cast-20 (Kerrlab) рекомендован [11] 12-часовой график удаления воска и прокаливания форм, который представлен на рисунке 2.28.

Для литья с натуральными камнями рекомендована [11] формомасса Stonecast (SRS) с графиком цикла прокаливания форм, приведенным на рисунке 2.29. Максимальная температура прокаливания форм при литье с камнями составляет – 630 °С.

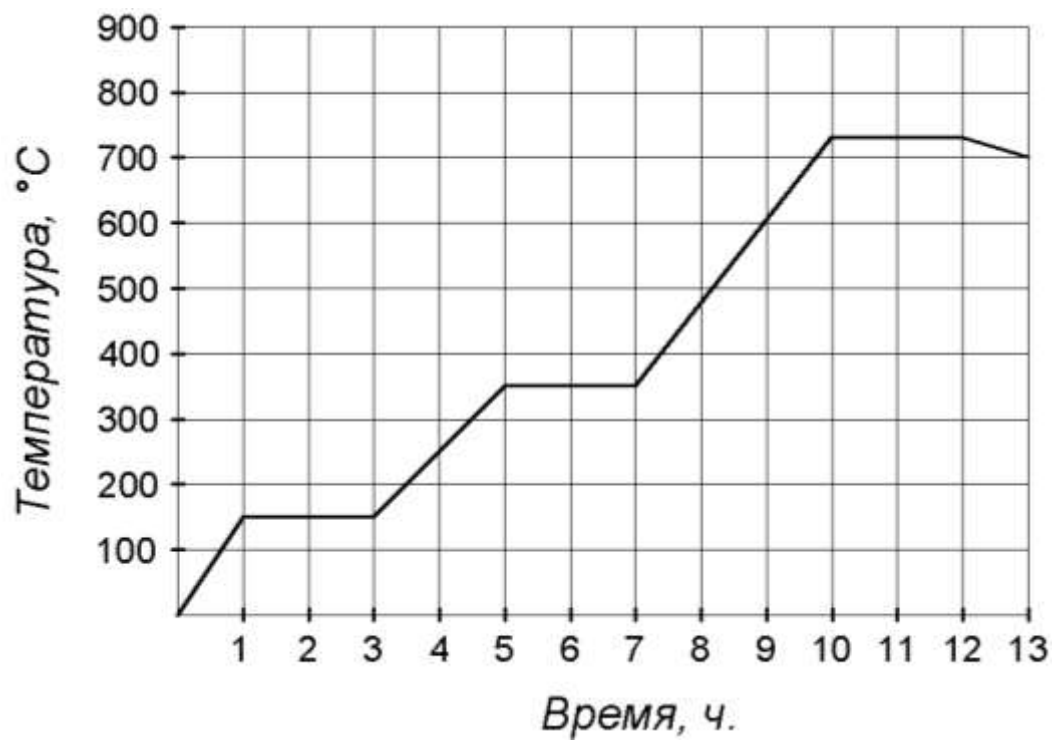


Рисунок 2.28 – График цикла отжига формомассы Satin Cast-20

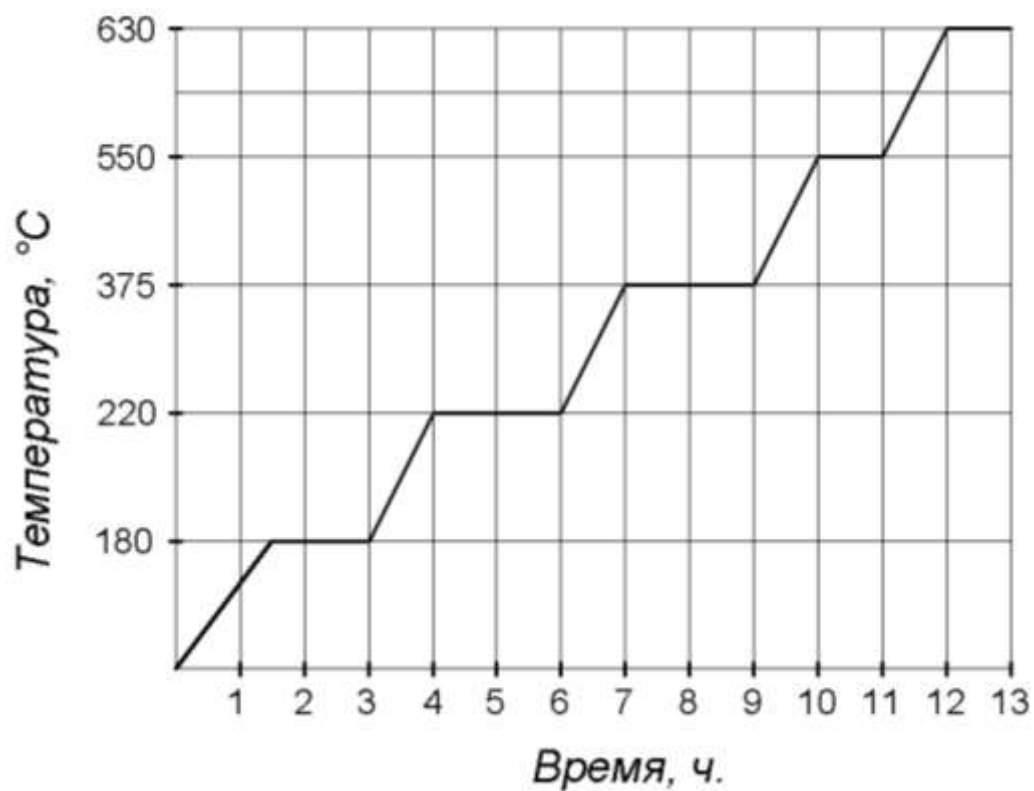


Рисунок 2.29 – График цикла отжига формомассы Stonecast

При использовании смеси Stonecast с целью уменьшения образования трещин в природных камнях при прокатке опок рекомендуется многоступенчатый нагрев с плавным подъемом температуры и длительной выдержкой на последней ступени при температуре 630 °С.

2.8 Плавка и литье ювелирных сплавов

В ювелирном литье для получения расплавов на основе золота можно использовать различные способы плавки и соответствующие плавильные установки и оборудование:

- газовые горелки;
- газовые печи;
- электрические печи сопротивления;
- индукционные печи.

После получения жидкого расплава следует произвести заливку металла в форму. Однако жидкий металл не может самотеком заполнить литейную форму, характеризующуюся тонкостенными и ажурными модельными полостями. Для заполнения формы жидким металлом в ювелирном литье применяют различные принудительные методы заливки:

- вакуумное литье;
- центробежное литье;
- вакуумно-центробежное литье;
- литье под давлением.

Применяемые в ювелирном производстве литейные установки имеют двойное назначение:

- 1) плавление металла (получение жидкого расплава);
- 2) принудительная подача расплава в форму (заливка).

Расплавление металлов в ювелирном литье осуществляется при помощи традиционных методов, в настоящее время, чаще всего индукционным способом. При этом очень важно не допустить окисления металла и его быстрого остывания. В процессе последующей заливки сплав должен заполнить все каналы, высвобожденные выплавленным воском в отожденной литейной форме.

2.8.1 Центробежное литье

Метод центробежного литья ювелирных изделий известен с глубокой древности, когда мастера-ювелиры тех времен, для принудительного поступления металла в полость литейной формы, раскручивали опоку подобно метательному молоту.

В настоящее время метод центробежного литья, уже достаточно давно используется в ювелирном производстве.

Принцип центробежного литья заключается в том, что заполнение формы расплавом и формирование отливки происходят при вращении формы вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной оси. Этим достигается дополнительное воздействие на расплав и затвердевающую отливку поля центробежных сил.

Главная особенность процесса формирования отливок при центробежном способе литья заключается в том, что заполнение формы и затвердевание отливки происходят в поле действия центробежных сил, во много раз превосходящих силу тяжести. Действие поля центробежных сил, приходящегося на единицу объема вращающегося расплава, может быть выражено зависимостью [18]:

$$P_u = \rho \omega^2 r / g, \quad (2.2)$$

где ρ - плотность расплава, г/см³;

ω - угловая скорость вращения формы, с⁻¹;

r - радиус вращения произвольной точки расплава, см;

g - ускорение свободного падения, $g = 981 \text{ см/с}^2$.

Соотношение между центробежной силой, действующей на расплав и собственной силой тяжести расплава выражается гравитационным коэффициентом:

$$K = P_u / \rho = \omega^2 r / g. \quad (2.3)$$

Удельное давление вращающегося расплава на стенки формы определяется выражением:

$$P = \frac{\rho \omega^2}{2g} (r^2 - r_0^2), \quad (2.4)$$

где r и r_0 - соответственно наружный и внутренний радиусы отливки, см.

При заливке форм с малой прочностью, в том числе и монолитных, угловая скорость вращения может быть снижена, а гидравлический напор расплава в стояке при этом будет значительным и его следует учитывать при определении давления расплава на стенки формы при его движении в каналах модельной полости:

$$P = (\rho \omega^2 r^2 / 2) + \rho gh, \quad (2.5)$$

где h – расстояние от уровня расплава в литниковой воронке на оси вращения до плоскости, в которой находится рассматриваемая произвольная точка расплава, см.

Таким образом, в расплаве, вращающемся вместе с формой с постоянной угловой скоростью, дополнительное давление изменяется пропорционально квадрату расстояния до рассматриваемой точки от оси вращения.

Метод центробежного литья имеет следующие преимущества [18]:

- 1) возможность получения отливок сложных форм сравнительно простым способом за счет улучшения заполняемости формы расплавом под действием давления, развиваемого центробежной силой;
- 2) повышение плотности отливок и значительное снижение возможности образования усадочных раковин;
- 3) уменьшение расхода металла из-за отсутствия прибылей и питающих резервуаров литниковых систем, потребность в которых отпадает.

В настоящее время существуют различные центробежные литейные машины, с помощью которых можно получать в большом количестве качественные отливки ювелирных изделий.

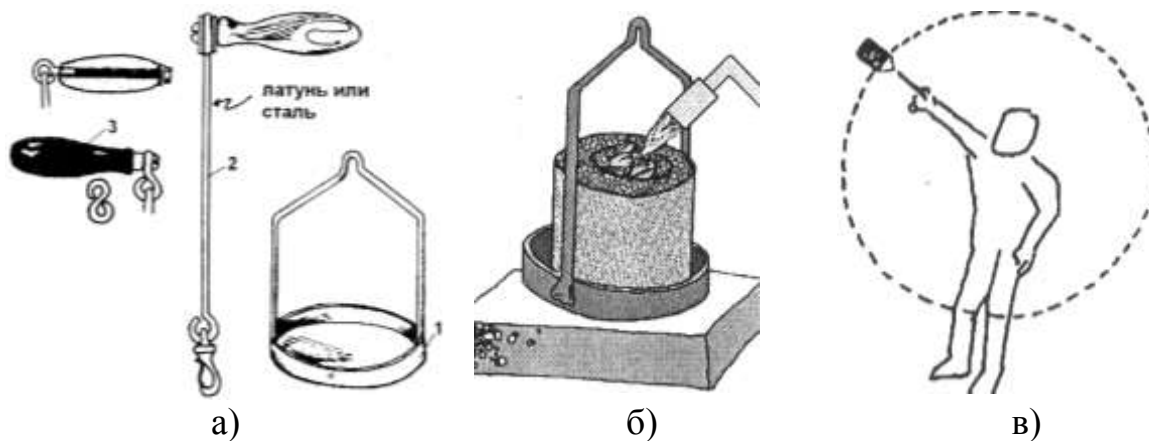
2.8.1.1 Простейшая центробежная литейная установка

Центробежное литье широко применяют зубные техники при изготовлении литых зубных протезов из благородных металлов. Простейший метод центробежного литья с ручным вращением формы до сих пор применяют ювелиры в небольших мастерских [4].

Простейшая центробежная установка состоит из (рис. 2.30, а):

- металлической чаши;
- металлического стержня;
- ручки.

Принцип действия установки: Прокаленную при температуре 650°C литейную форму устанавливают на чашу, затем необходимое количество металла плавят газовой горелкой непосредственно у литниковой воронки (рис. 2.30, б). Поскольку диаметр стояка у нижнего основания воронки составляет 3...4 мм, то после расплавления металл под действием собственной силы тяжести не будет затекать через отверстие стояка в форму. Когда металл достаточно расплавится, он должен плавать и «перекачиваться» как шарик ртути у литникового отверстия. Далее горелку убирают, чашу с опокой плавно вращают с помощью ручки в вертикальной плоскости около 20 оборотов (рис. 2.30, в).



а – элементы конструкции; б – схема плавки металла на опоке;

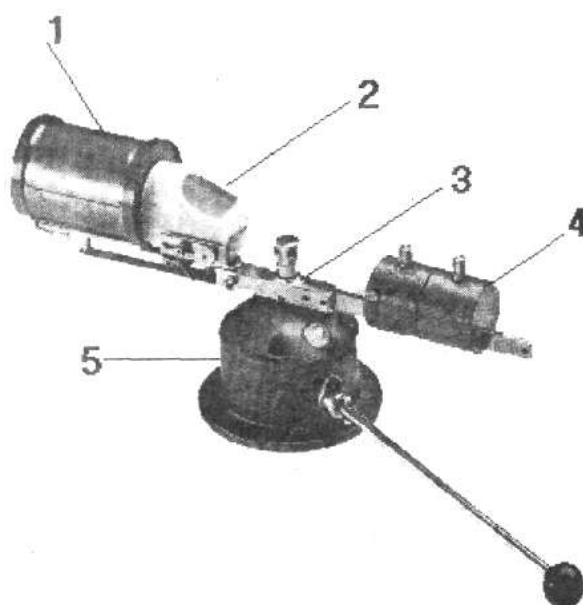
в – схема вращения чаши с опокой

1 – чаша для опоки; 2, 3 – ручка для вращения

Рисунок 2.30 – Простейшая центробежная литейная установка:

2.8.1.2 Центробежная литейная установка с приводом от пружины

В условиях индивидуального и мелкосерийного производства ювелирных изделий используют центробежные литейные установки с приводом от пружины (рис. 2.31 [4]), тогда как в промышленных центробежных литейных установках используется электропривод.



1 - опока; 2 – тигель; 3 – коромысло; 4 – груз;

5 - основание с пружиной для запуска установки

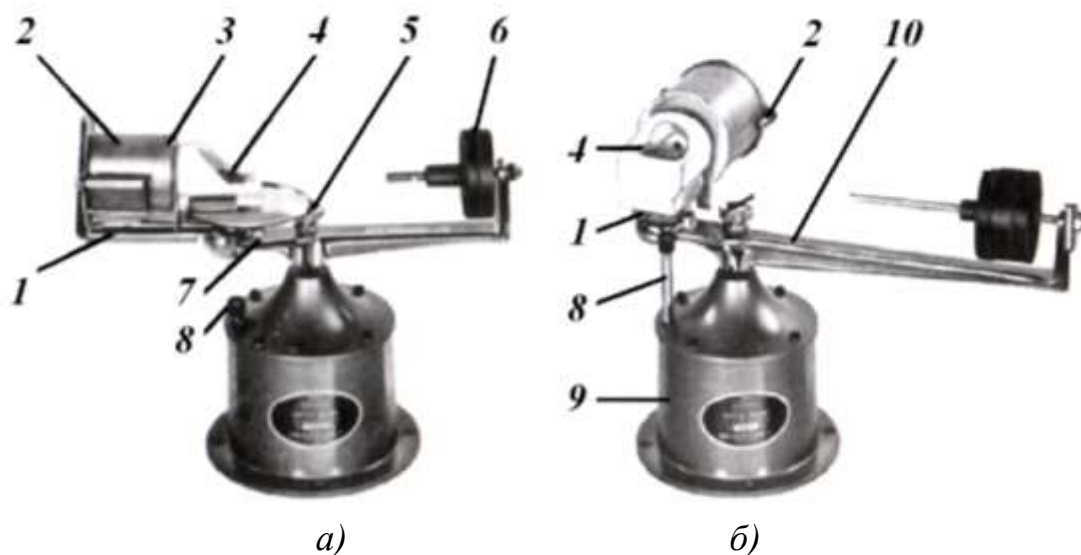
Рисунок 2.31 - Центробежная литейная установка с приводом от пружины

Конструкция центробежной установки с приводом от пружины состоит из следующих основных элементов: опоки, тигля, коромысла, груза, основания с пружиной для запуска установки. Коромысло установки уравнивается опокой и грузом. На одном конце коромысла укреплена опока с тиглем, который вставлен в отверстие литниковой опоки, а на другом конце укреплен груз, который можно перемещать по коромыслу для его уравнивания.

Металл в тигле расплавляется с помощью газовой горелки. Чтобы запустить коромысло, необходимо его вращать ручным способом в обратную сторону и зафиксировать заведенную пружину стопором, расположенным на основании установки. Стопор спускается в момент заливки расплавленного металла в опоку.

При вращении коромысла на расплавленный металл действует центробежная сила, которая нагнетает расплав в опоку. Центробежная сила, как было показано выше, зависит от скорости вращения, массы расплавленного металла и от длины плеча коромысла. Поэтому на этих установках для развития больших скоростей применяют мощные пружины. В целях безопасности литейную машину рекомендуется устанавливать в металлическую корзину или в специальный защитный кожух, которые предохраняют от случайного контакта с вращающимся рычагом и от возможного выплеска металла в момент его заливки.

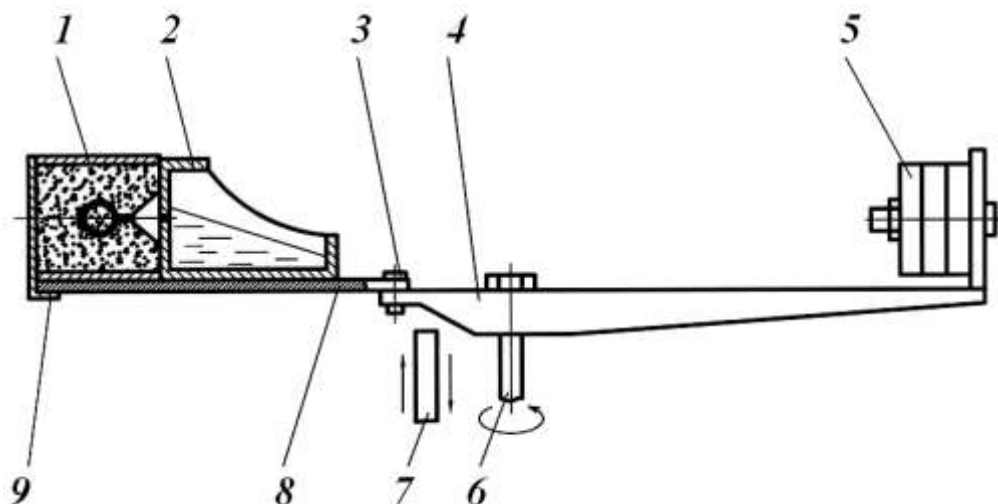
В настоящее время в условиях мелкосерийного изготовления литых ювелирных изделий широкое распространение получили ручные центробежные машины фирмы «Kerr» (рис. 2.32, 2.33).



а) рабочее положение; б) рычаг на фиксаторе

1 – поворотный рычаг; 2 – держатель опоки; 3 – опока; 4 – тигель; 5 – гайка вала ротора; 6 – противовес; 7 – каретка тигля; 8 – фиксатор; 9 – основание; 10 – рабочий рычаг (коромысло)

Рисунок 2.32 – Общий вид ручной центробежной литейной установки «Kerr-стандарт»



1 – опока; 2 – тигель с расплавом; 3 – поворотное устройство; 4 – рабочий рычаг (коромысло); 5 – противовес; 6 – вал ротора; 7 – фиксатор; 8 – поворотный рычаг; 9 – держатель опоки

Рисунок 2.33 – Схема ручной центробежной литейной установки «Kerr-стандарт»

Стандартная литейная установка фирмы «Kerr-стандарт» укомплектована большим (на 75 г металла) и малым (на 31 г металла) керамическими тиглями, устанавливаемыми в специальную каретку на рабочем рычаге (коромысле). Тигель вставляют в каретку таким образом, чтобы отверстие в его торце находилось напротив литникового отверстия в опоке, закрепленной в держателе на том же рычаге.

При подготовке тигля к работе в нем предварительно плавят кристаллы борной кислоты с небольшим количеством воды: смесь нагревают до тех пор, пока не появятся пузырьки. Расплавленная смесь покрывает внутреннюю поверхность тигля, что впоследствии облегчает плавку металла и предотвращает его внедрение в стенки тигля.

Противовесы необходимы на рычаге литейной машины для балансировки веса опоки, тигля и металла для литья: при правильной балансировке рычаг вращается равномерно с минимальными вибрациями. Перед началом работы важно хорошо сбалансировать рычаг, что предотвращает чрезмерный износ трущихся деталей машины. При балансировке на машину устанавливают макет опоки с формовочной смесью, загружают в тигель необходимое количество металла, а затем производят уравнивание регулировкой грузов противовеса. Проведение такой балансировки необходимо перед каждой конкретной операцией литья.

Для приведения машины в состояние готовности взводят пружину привода: взявшись за конец рычага с противовесом, его поворачивают на 3...4 оборота по часовой стрелке, после чего устанавливают его на фиксатор, который вытягивают из основания установки. Освобождение фиксатора отпустит пружину и вызовет эффект центрифугирования. Литейную

установку необходимо приводить в рабочее положение во время процесса прогрева опоки в прокалочной печи.

Плавку металла в тигле начинают за несколько минут до того, как опока достигнет нужной для литья температуры. Плавку металла в тигле производят с помощью газовой горелки. Пламя регулируют таким образом, чтобы его длина составляла приблизительно 75 мм. Внешняя прозрачная голубая часть пламени – это та его часть, которая вызывает окисление металла. Более яркая, внутренняя, область пламени с высокой температурой обеспечивает восстановление металла. Нагрев металла этой областью пламени уменьшает его окисление и обеспечивает быструю плавку. Когда металл подвергается воздействию восстанавливающей части пламени, его поверхность становится блестящей, похожей на зеркало. При плавлении металла его необходимо обрызгивать флюсом (например, тетраборнокислым натрием), что способствует процессу восстановления и увеличивает текучесть металла.

Непосредственно перед окончанием плавки опоку извлекают из печи при помощи щипцов и устанавливают в держатель опоки на рычаге машины, при этом отверстие литниковой воронки должно быть обращено в сторону тигля. Опоку устанавливают встык с отверстием в тигле, чтобы при литье металл из тигля поступал в отверстие литниковой воронки и заполнял форму. При этом продолжают воздействовать на металл пламенем горелки. Для перемешивания металла, чтобы убедиться, что он полностью жидкий, используют графитовый стержень. Металл считается готовым к заливке, когда он «перекатывается» по дну тигля как ртуть.

Когда готовность к литью достигнута, потянув рычаг за противовес, освобождают фиксатор, позволяя ему упасть в основание машины. В то же время убирают горелку и отпускают рычаг, который удерживали рукой. Руки и горелку держат в стороне от вращающегося рычага. Если соблюдены правила балансировки, рычаг будет вращаться равномерно и без вибраций. Вращение рычага прекращается самостоятельно, без постороннего воздействия. После остановки рычага опоку снимают с помощью щипцов.

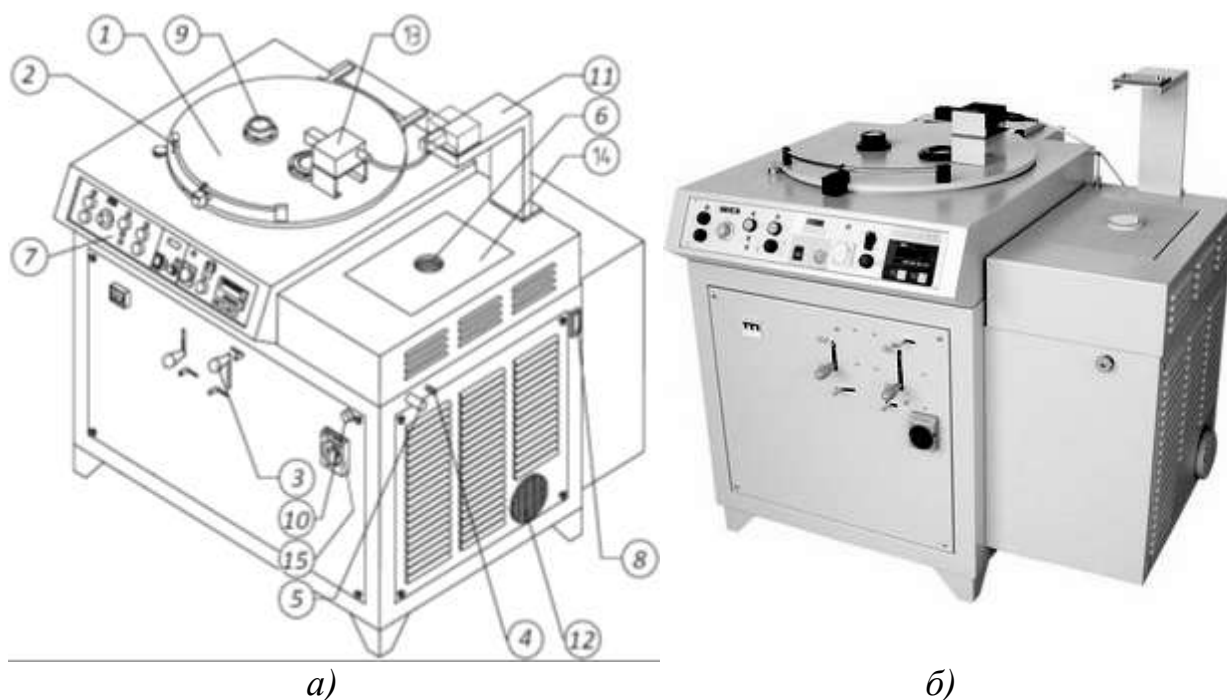
2.8.1.3 Промышленные центробежные литейные установки

В настоящее время для операций ювелирного литья используются промышленные центробежные литейные установки, обеспечивающие получение литых изделий высокого качества. Рассмотрим некоторых представителей этой линейки оборудования.

Вакуумная центробежная литейная установка «Man-neutor», производства Manfredi (Италия) [23] – это электронная установка, применяемая для плавки и литья ювелирных сплавов центробежным способом. В состав установки входит два блока (рис. 2.34):

- блок центробежного литья;

- блок со встроенной индукционной печью для переплавки остатков литья (возврата).



а) схема установки; б) общий вид установки

1 – крышка центробежной камеры; 2 – рукоятка крышки; 3 – рукоятка рычага подъема катушки; 4 – трубка для подключения аргона; 5 – трубка для подключения вакуумного насоса; 6 – индуктор; 7 – пульт управления; 8 – пробка вакуумного насоса; 9 – вакуумметр; 10 – пробка аргона; 11 – защитная панель питания; 12 – вход охлаждающего воздуха; 13 – устройство оптического считывания; 14 – индукционная печь; 15 – кнопка включения питания

Рисунок 2.34 - Центробежная литейная установка «Man-neutor»

Схема блока центробежного литья «Man-neutor» представлена на рисунке 2.35.

Основные технические характеристики «Man-neutor»:

- напряжение питания: 380 В;
- потребляемая мощность: 7,6 кВт;
- объем тигля центробежной части: 50 см³;
- габаритные размеры (ШхГхВ): 1200х1080х1290;
- масса: 387 кг.

Особенности блока центробежного литья установки «Man-neutor»:

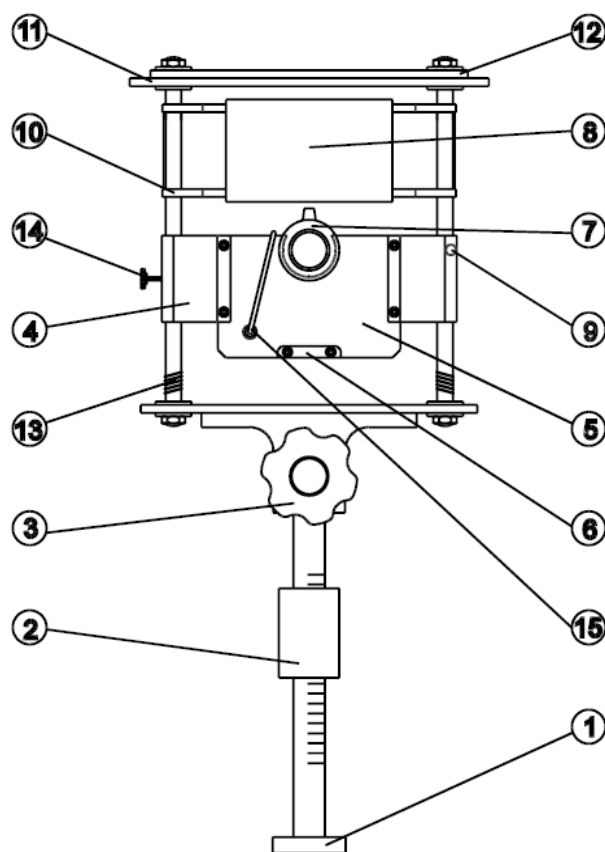
- программируемые скорость центрифугирования и стартовое ускорение (время вращения центрифуги программируется в зависимости от количества металла);

- расплавление металла происходит в вакууме с насыщением среды инертным газом (аргон или азот); вакуум удаляет газы из опоки, а подача инертного газа защищает металл от окисления при плавке;

- расплавление металла осуществляется индукционным способом; индукционный ток способствует лучшему перемешиванию металла; ускоряет время разогревания любых драгоценных сплавов, даже самых сложных по составу; на установке осуществляется автоматический подъем катушки индуктора при помощи пневматики.

- контроль температуры осуществляется при помощи оптической системы с инфракрасным зондом.

В установке реализована возможность использования как графитовых, так и керамических плавильных тиглей.



1 – зафиксированный противовес; 2 – подвижный противовес; 3 – фиксирующая ручка; 4 – направляющая каретки держателя тигля; 5 – пластина держателя тигля; 6 – фигурный вырез для юстировки направляющей каретки; 7 – тигель; 8 – опока; 9 – ось направляющей каретки; 10 – держатель опоки; 11 – пластина держателя опоки; 12 – крестовина штанги; 13 – пружина стойки; 14 – винт крепления каретки; 15 – зажим крышки тигля

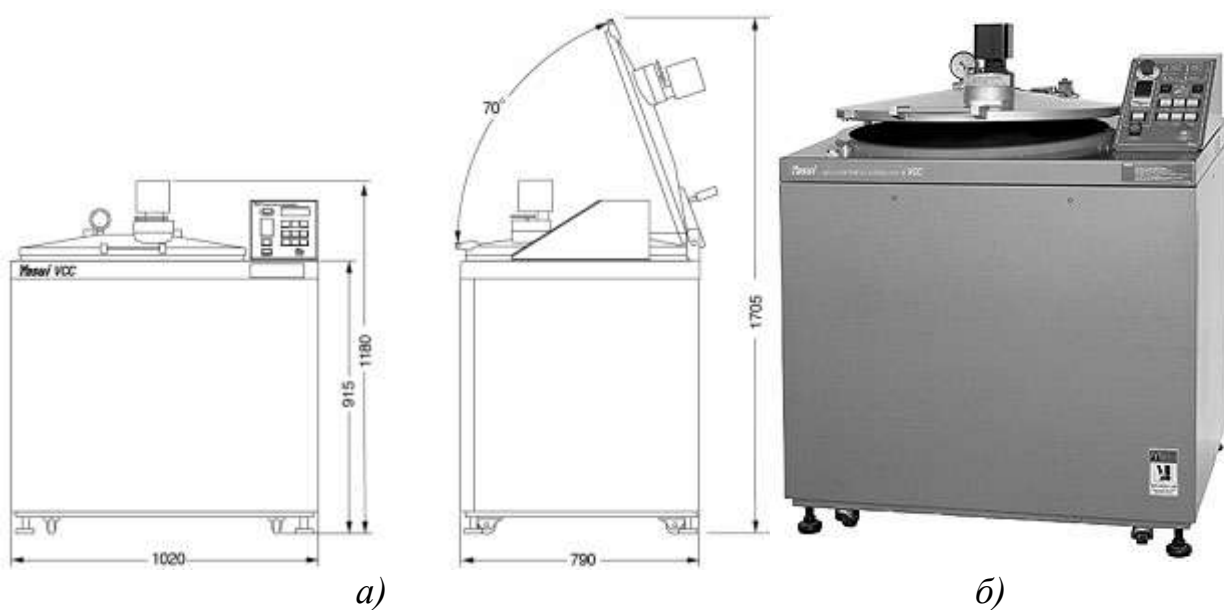
Рисунок 2.35 – Схема блока центробежного литья «Man-neutor»

При плавке и литье высокотемпературных сплавов, например платины и ее сплавов операцию расплавления необходимо производить только в центробежной части установки.

Вакуумная центробежная литейная установка «Yasui VCC», производства Yasui (Япония) [24].

Следует отметить, что большинство центробежных литейных машин, в том числе и «Man-neutor», снабжены прямым рычагом. В установке «Yasui VCC» (Vacuum Centrifugal Casting Machine), изображенной на рис. 2.36, применена запатентованная японской фирмой Yasui конструкция двойного качающегося рычага.

Известно, что ключевым моментом при центробежном литье является необходимость того, чтобы жидкий металл заливался в форму очень быстро и равномерно. Для достижения этой цели раньше просто пытались максимально увеличить число оборотов рычага литейной машины, однако слишком быстрое вращение рычага действует на жидкий металл со слишком большим угловым ускорением и слишком большой центробежной силой, в результате чего не удавалось достичь качественного литья непосредственно в центре литейной формы (рис. 2.37). Конструкция двойного качающегося рычага позволила выровнять форму и жидкий металл по одной оси (рис. 2.38).



а) схема установки; б) общий вид установки

Рисунок 2.36 – Центробежная литейная установка «Yasui VCC»

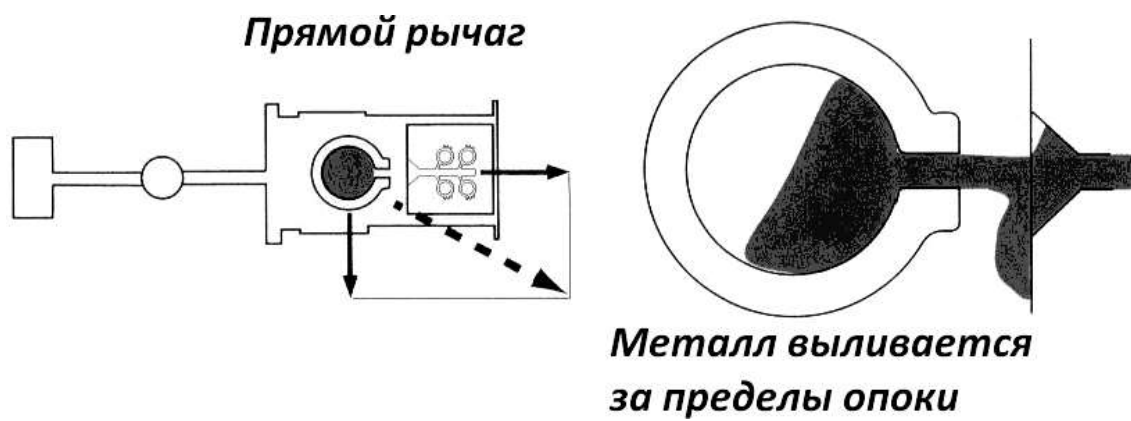


Рисунок 2.37– Схема работы прямого жесткого рычага

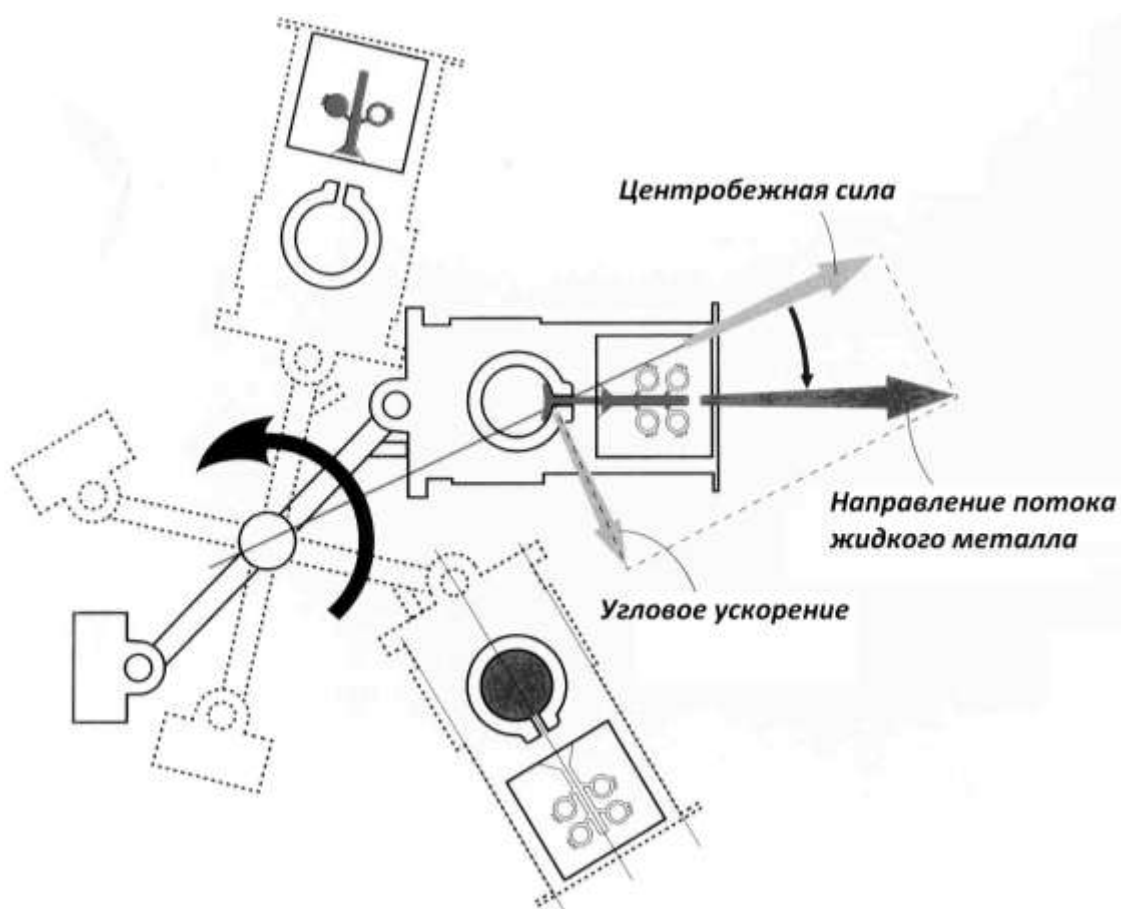


Рисунок 2.38 – Схема работы двойного качающегося рычага

Общий вид рабочей камеры литейной машины «Yasui VCC» изображен на рисунке 2.39.

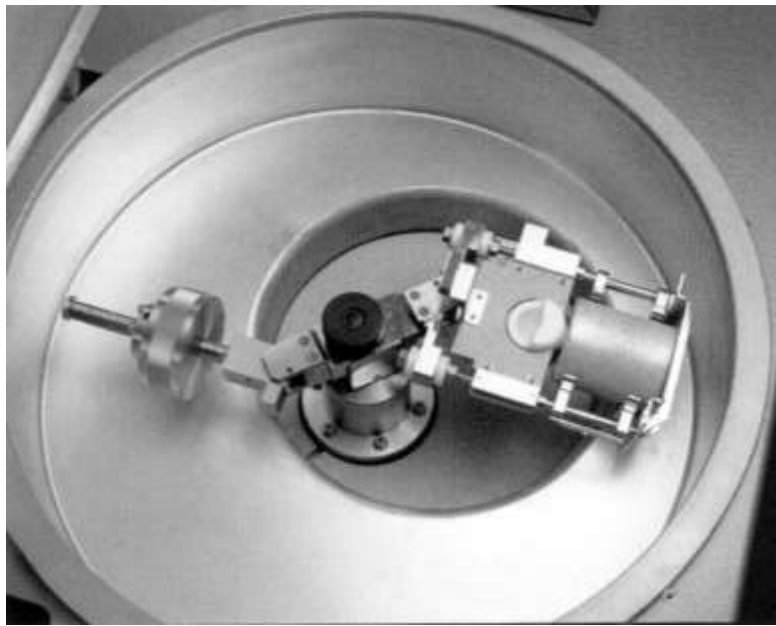


Рисунок 2.39 - Рабочая камера литейной машины «Yasui VCC»

Основные технические характеристики «Yasui VCC»:

- напряжение питания: 220 В;
- потребляемая мощность: 5 кВт;
- максимальная загрузка тигля в пересчете на платину: 400 г;
- максимальное ускорение: до 500 об/мин за 0,2 с;
- диапазон температур: от 900 до 2100 °С;
- размер опоки: 76 мм /89 мм (макс. длина 100 мм);
- подача инертного газа (аргон): 0,5...0,6 МПа;
- подача воды: > 2 л в мин, 0,25...0,3 МПа;
- память для программ литья: макс. 20;
- габаритные размеры (ШхГхВ): 1020х790х1180 мм;
- масса: 350 кг.

Таким образом, отличительной особенностью литейной установки «Yasui VCC» является наличие установленного двойного качающегося рычага центрифуги, что дает возможность достижения оптимального потока расплавленного металла в опоку и позволяет избежать образования турбулентности в расплаве, которая порождает пористость. Это также способствует удалению газов через формомассу.

Следует отметить, что фирма-производитель «Yasui» позиционирует свою литейную установку «Yasui VCC», в основном, для литья платины, однако, по отзывам ювелирных фирм, данная машина весьма хорошо себя зарекомендовала также и для литья сплавов золота.

Центробежная установка для литья благородных зубопротезных сплавов «ЦентроЛит-30» [25].

Центробежная литейная установка «ЦентроЛит-30» производства ООО «СПАРК-ДОН, ЛТД» (Россия) предназначена для плавки металла открытым пламенем кислородно-пропановой горелки и последующего центробежного литья зубных протезов из благородных сплавов.

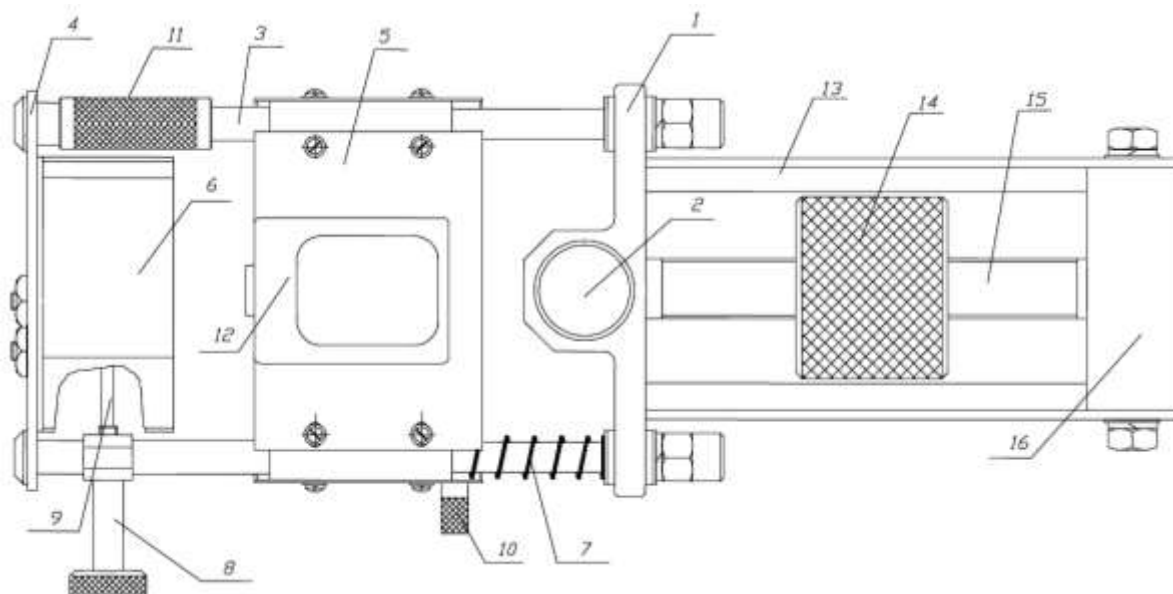
Технические характеристики установки «ЦентроЛит-30» представлены в таблице 2.20.

Установка состоит из следующих основных частей: корпуса; крышки; рабочей камеры; центробежного привода; блока управления; устройства блокировки. Корпус установки имеет жесткий каркас, на котором крепятся цельнометаллический кожух и крышка. Внутри корпуса расположены все основные части установки (рис. 2.40).

Таблица 2.20 – Технические характеристики установки «ЦентроЛит-30», ООО «СПАРК-ДОН, ЛТД» (Россия)

Модель установки	Внешний вид установки	Технические характеристики
«Центро Лит-30», ООО «СПАРК-ДОН, ЛТД» (Россия)		<ul style="list-style-type: none">- напряжение питающей сети: 220 В;- потребляемая мощность: 400 Вт,- время вращения центрифуги: 15...120 с;- скорость вращения центрифуги: 300..600 об/мин;- габаритные размеры: 615x280x470 мм;- масса: 40 кг.

Центрифуга установки состоит из подвеса 1, закрепляемого на несущем валу привода с помощью прижимной гайки 2. С одной стороны подвеса 1 укреплены направляющие 3, связанные на другом конце упором 4. По направляющим свободно перемещается держатель тигля 5, снабженный ручкой. Держатель тигля поджимается пружиной 7 к держателю опоки 6. Перемещение держателя кюветы осуществляется с помощью рычага 9, который вращается на направляющей и фиксируется в требуемом положении с помощью ручки 8. С помощью рычага 9 можно совмещать центр опоки с центром выходного отверстия тигля 12. На другой направляющей имеется ограничитель 11, предназначенный для ограничения движения держателя тигля с целью предотвращения удара тигля об опоку. С другой стороны подвеса на двух уголках 13 укреплен противовес 16 и винт 15, по которому перемещается груз 14, предназначенный для балансировки центрифуги.



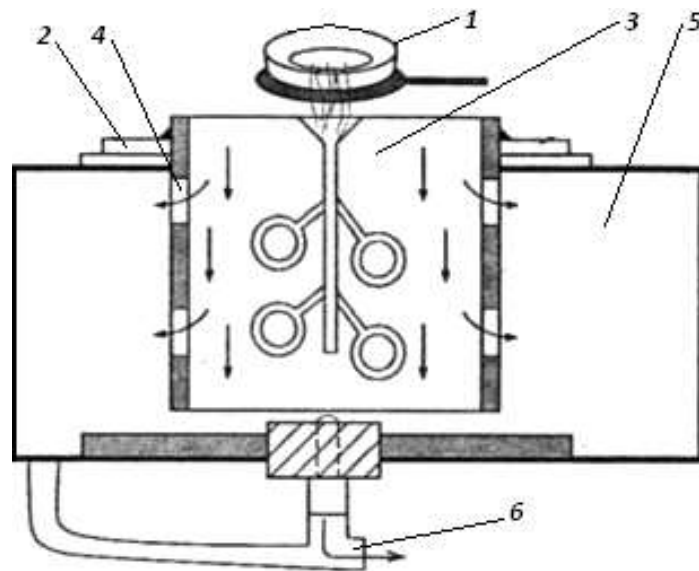
1 - подвес; 2 - прижимная гайка; 3 - направляющие; 4 - упор; 5 – держатель тигля; 6 - держатель опоки (кюветы); 7 - пружина; 8 - ручка рычага; 9 - рычаг; 10 - ручка; 11 - ограничитель; 12 - тигель; 13 - уголки; 14 - груз; 15 - винт; 16 - противовес

Рисунок 2.40 – Схема центрифуги «ЦентроЛит-30»
для литья зубопротезных сплавов

2.8.2 Вакуумное литье

Метод вакуумного литья основан на удалении воздуха из литейной формы во время заливки (рис. 2.41). За счет выкачивания из формы воздуха в ее полости создается определенное разряжение. Разность атмосферного давления и давления в литейной форме создает искусственное избыточное давление жидкого металла на стенки формы, обеспечивая тем самым качественное воспроизведение отливками рельефа поверхности модельной полости формы.

Вакуумное литье, как и центробежное, также обеспечивает принудительную подачу расплава в полость литейной формы. Однако при центробежном литье жидкий металл затекает в форму, заполненную воздухом и газом, который оказывает сопротивление жидкому металлу. Тогда как при вакуумном литье это сопротивление равно нулю, поскольку практически весь воздух из полости формы при заливке высасывается форвакуумным насосом.



1 – ковш с расплавленным металлом; 2 – асбестовая прокладка;
3 – литейная форма; 4 – перфорация на опоке; 5 – вакуумный ресивер;
6 – подвод к вакуумному насосу

Рисунок 2.41 – Схема вакуумного литья

Гутов Л.А. [26] показал расчетным путем, что на типовой установке центробежного литья давление жидкого металла составляет порядка $10 \cdot 10^4$ Па, а при литье методом вакуумного всасывания – $5,5 \cdot 10^4$ Па, т.е. давление жидкого металла при центробежном литье практически в два раза выше, чем давление при вакуумном литье.

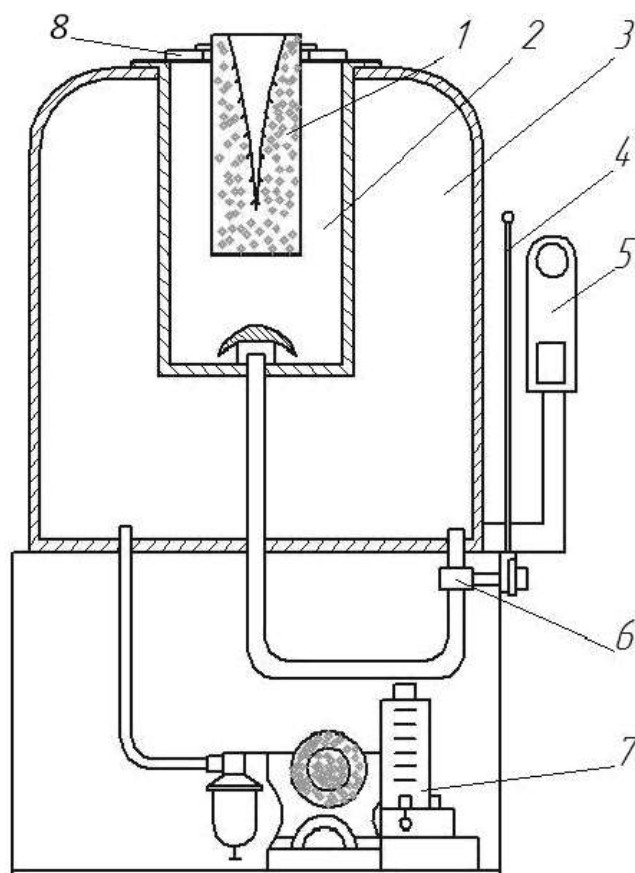
Заполнение формы посредством такого большого давления является причиной нескольких отрицательных факторов [4]:

- абразия частиц формовочной массы со стороны металла и поглощение их отливками;
- быстрое закрытие отверстия литниковой воронки, без возможности выпуска воздуха и остаточных газов, образующихся от сгорания воска и выделяющихся в момент заливки;
- неравномерное распределение компонентов сплава в отливке из-за сильной центробежной силы, которая провоцирует явление химической ликвации;
- хрупкость отливок из-за принудительного и резкого действия центробежной силы на сплав.

2.8.2.1 Установка «вакуум-металл»

Установка «Вакуум-металл» (рис. 2.42) состоит из рабочей камеры 2, в которой установлена опока 1, камеры предварительного разряжения 3, форвакуумного насоса 7 и пульта управления, на котором расположен ма-

номер 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 [20].



*1 – опока; 2 – рабочая камера; 3 - камера предварительного разряжения;
4 – рукоятка вакуумного затвора; 5 – пульт управления с манометром,
сигнальным индикатором, выключателем насоса; 6 – вакуумный затвор;
7 – форвакуумный насос; 8 - фланец с кольцевой
уплотнительной прокладкой*

Рисунок 2.42 - Схема установки «вакуум-металл»

Принцип работы установки следующий. В камере предварительного разрежения с помощью насоса создается вакуум. Прокаленную литейную форму устанавливают на фланец рабочей камеры и выполняют ее заливку жидким металлом. Практически одновременно с заливкой, поворотом рукоятки вакуумного затвора, рабочую камеру соединяют с камерой предварительного разрежения. При этом давление на стенки газопроницаемой формы уменьшается (становится значительно ниже атмосферного), и атмосферное давление, действуя на поверхность жидкого металла, заставляет его заполнять литейную полость формы.

Использование вакуума при литье ювелирных изделий, на примере установки «вакуум-металл», имеет следующие преимущества:

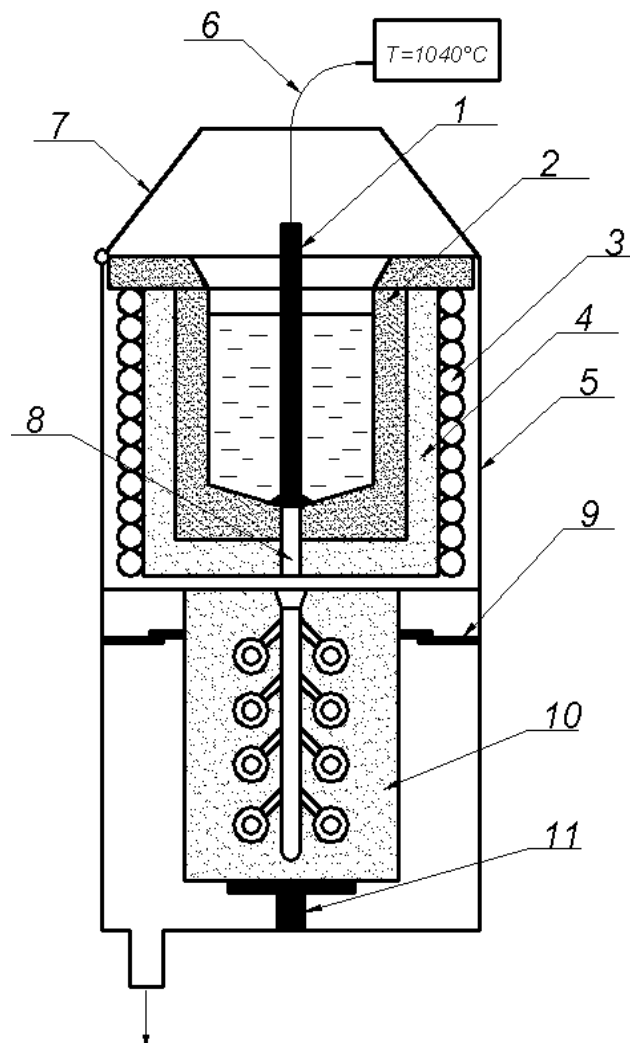
- возможность получения качественных ажурных тонкостенных отливок вследствие отсутствия сопротивления воздуха в литейной форме;
- возможность получения плотных отливок без газовых раковин, корольков и др. дефектов;
- обеспечивается равномерность и быстрота заливки форм;
- обеспечиваются условия для получения большого количества отливок за счет увеличения размеров опок;
- сокращается количество оборотного металла на литниках;
- процент брака на металлической елочке получается практически нулевым;
- повышенная пластичность (ковкость) отливок.

2.8.2.2 Вакуумные индукционные литейные установки с донным разливом

В ювелирном производстве широкое распространение получили вакуумные установки с донным разливом (ВУДР). Эти установки оснащены индукционными плавильными печами, в которых плавка металла ведется в вакууме или в защитной среде инертных газов, а заливка металла в форму осуществляется через донную часть тигля.

Особое преимущество индукционного метода плавки заключается в достаточно быстром достижении температуры нагрева, так как основная энергия процесса сосредоточена непосредственно в тигле с металлом. Электромагнитное поле индуцирует в тигле вихревые токи, которые не только быстро нагревают и плавят металл, но и интенсивно перемешивают его в процессе плавки, значительно повышая качество литья и снижая ликвацию.

Конструкция установки состоит из двух вертикально расположенных камер: верхней – плавильной, и нижней (для формы) – литейной (рис. 2.43). В плавильной камере размещены индуктор с тиглем. Тигель в донной части имеет отверстие, предназначенное для разлива металла, и перекрываемое во время плавки специальным стопором. В литейной камере размещен приемный стол для опоки с гидравлическим механизмом подъема-опускания. В обеих камерах реализовано независимое друг от друга вакуумирование.



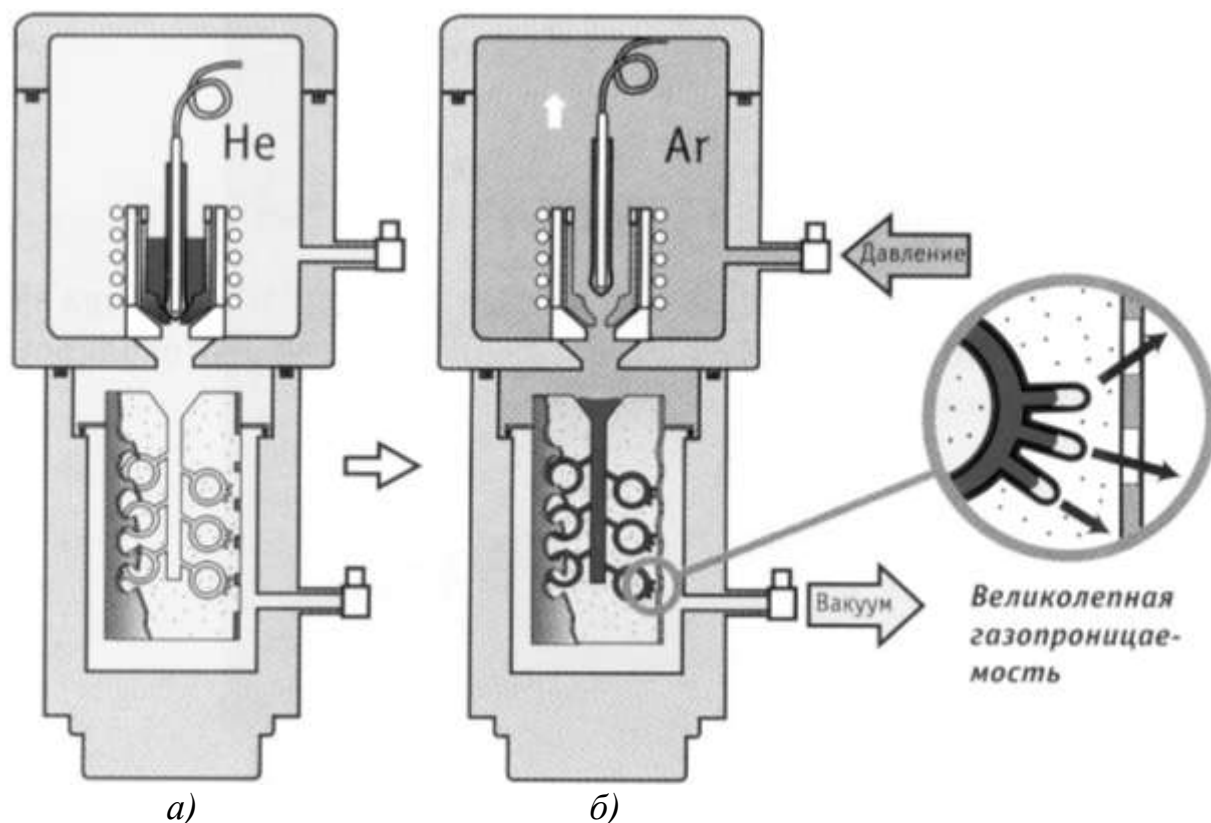
1 – стопор; 2 – тигель; 3 – индуктор; 4 – теплоизоляционный слой; 5 – корпус; 6 – термонара; 7 – поворотная крышка; 8 – отверстие для донной разливки; 9 – резиновые уплотнители; 10 – форма в опоке; 11 – приемный стол для опоки

Рисунок 2.43 - Схема плавильно-заливочного узла установки с донным разливом

Рассмотри принцип действия установки ВУДР и газовый режим литья под действием градиентного давления (рис. 2.44). Процесс плавки металла в плавильной камере протекает в защитной среде, исключающей окисление компонентов сплава (в атмосфере инертного газа или в вакууме). В ходе плавки стопор находится в плотно прижатом положении к разливочному отверстию тигля. Когда расплавление металла достигнуто, опоку извлекают из прокалочной печи и загружают в литейную камеру установки.

После загрузки опоки литейную камеру герметизируют и с помощью гидравлического подъемника плотно прижимают опоку литниковой воронкой к выпускному отверстию тигля. Камеру с опокой вакуумируют, а в плавильной камере над зеркалом металла создают избыточное давление инертного газа. В момент времени, когда стопор с термонарой поднимется

и откроет разливочное отверстие в тигле, расплав под действием собственного веса и за счет перепада давления в плавильной и литейной камерах, перетечет из тигля в полость литейной формы.



а) режим плавки; б) режим литья

Рисунок 2.44 – Схема газового режима при работе литейных установок ВУДР

Как видно из схемы, представленной на рисунке 2.44, направленный сверху вниз градиент давления инертного газа, под действием которого расплав перетекает в форму, обеспечивает оптимальное заполнение модельной полости формы и, соответственно, высокое качество поверхности отливок. При вакуумном литье следует применять только перфорированные опоки, которые могут обеспечить отличную газопроницаемость форм при их вакуумировании.

Отличительной особенностью установок ВУДР является то, что благодаря принципу донного слива металла в процессе заливки его в опоку, в форму поступает только чистый сплав, так как шлаковые составляющие остаются на поверхности зеркала металла, и попадают только в верхнюю часть отливки - литниковую воронку.

Современные установки системы ВУДР оснащены автоматическими устройствами для точного определения температуры плавки, позволяющими выполнять абсолютно точное повторение циклов литья с минимальным процентом угара и брака. Система контроля температуры представля-

ет собой термopару, размещенную в пустотелом стопоре, которые совместно погружаются в расплав и терморегулятора.

Литейные машины с донным разливом также могут оснащаться устройством для производства гранул серебра, золота и их сплавов, что особенно важно при переработке (переплавке) возврата собственного производства в виде остатков литевых елочек, литников, стружки.

Преимущества применения индукционных литейных установок системы ВУДР:

- высокое качество литья;
- защитная атмосфера инертного газа при плавке металла предохраняет расплав от воздействия кислорода в течение всего процесса плавки и заливки в форму;
- точный контроль температуры в тигле при плавке металла;
- электромагнитное перемешивание расплава, обеспечивающее однородность и гомогенность сплава по всему сечению «елочки»;
- возможность литья с камнями;
- быстрый рабочий цикл и простота в управлении.

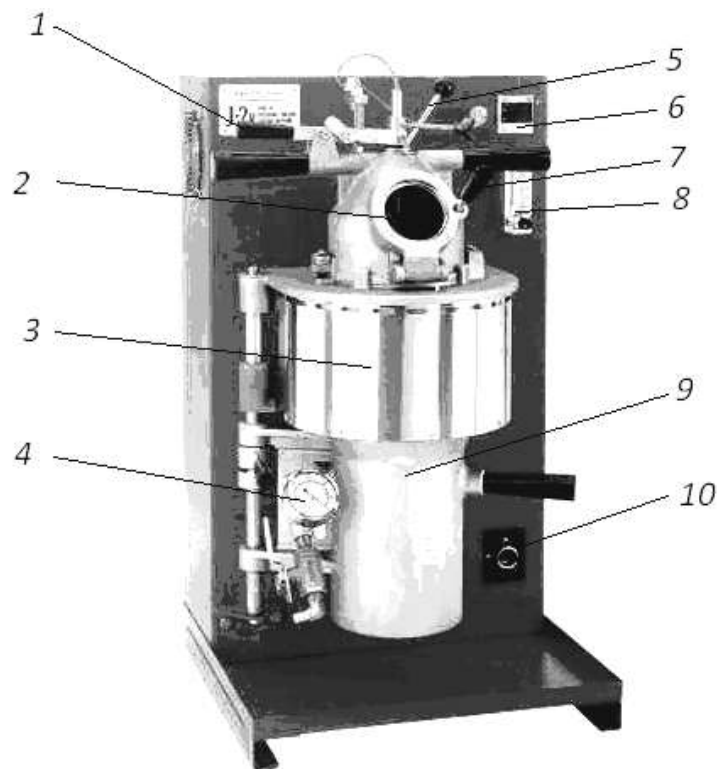
2.8.2.3 Промышленные вакуумные индукционные литейные установки

В настоящее время наибольшую популярность среди производителей ювелирной продукции получили вакуумные индукционные литейные установки таких мировых брендов ювелирного оборудования как: NEUTEC (США), TOPCAST (Италия), INDUTHERM (Германия) и др.

2.8.2.3.1 Литейные установки NEUTEC

Литейная машина «NEUTEC J-2R».

Установка «NEUTEC J-2R» (рис. 2.45) предназначена для работы в условиях мелких ювелирных мастерских для выполнения качественного литья небольшими партиями [27].



1 – рычаг для литья; 2 – смотровое окно; 3 – плавильная камера; 4 – система вакуумирования; 5 – рычаг для перемешивания; 6 – контроль температуры; 7 – погруженная термopара; 8 – контроль атмосферы; 9 – литейная камера; 10 – главный выключатель

Рисунок 2.45 - Общий вид литейной установки «NEUTEC J-2R»

Установка «NEUTEC J-2R» отличается сравнительной легкостью в работе и простой последовательностью операций:

- 1) открыть крышку плавильной камеры и установить стопор в крайнем нижнем положении для перекрытия заливочного отверстия тигля;
- 2) установить контроллер температуры на требуемую температуру литья и включить индукционный нагрев;
- 3) загрузить металлическую шихту в тигель;
- 4) закрыть крышку плавильной камеры;
- 5) включить вакуумирование плавильной камеры и после достижения требуемого разряжения включить подачу защитной атмосферы инертного газа;
- 6) после выхода плавильной камеры на рабочий режим в литейную камеру загрузить прокаленную форму;
- 7) непосредственно перед разливкой металла включить вакуумирование литейной камеры с формой;
- 8) с помощью рычага машины осуществить выпуск расплава из тигля в форму.

Функциональные особенности установки «NEUTEC J-2R»:

- простота конструкции и работы установки;

- быстрые циклы литья: от 6 до 8 минут (после выхода установки на заданный температурный режим);

- литье в бескислородной среде и защита сплава от окисления.

Технические характеристики «NEUTEC J-2R»:

- максимальная емкость тигля: 154 см³ (722 г серебра 999-й пробы или 902 г золота 585-й пробы);

- максимальная емкость опоки: 102x229 мм (с перфорацией);

- время цикла литья (после первого прогрева): 6...8 минут;

- максимальная температура: 1204 °С;

- габаритные размеры: 810x640x460 мм;

- масса установки – 54 кг;

- параметры электропитания: напряжение сети 220 В, сила тока 15 А;

- мощность установки: 1,5 кВт;

- защитная среда: аргон или азот (давление 0,7 МПа);

- производительность вакуумного насоса: 142 л/мин.

Литейная машина «NEUTEC J-zP».

Установка «NEUTEC J-zP» (рис. 2.46) представляет собой полуавтоматическую среднечастотную индукционную вакуумную литейную машину с донным разливом, осуществляемым под контролем микрокомпьютера. Данная модель ориентирована для серийного литья ювелирных изделий [27].

Функциональные особенности установки «NEUTEC J-zP»:

- точный микропроцессорный контроль всех параметров литья в реальном времени обеспечивает высокую точность и качества литья, что особенно важно для литья по моделям с камнями (Stone-in-Wax).

- экономичные расходные материалы тигля с длительным сроком службы – 150..250 циклов плавки;

- запатентованная технология достижения полной однородности металла без превышения пробы;

- установка комплектуется дополнительной системой грануляции металла из остатков литевых елочек;

Технические характеристики «NEUTEC J-zP»:

- максимальный размер опоки с фланцем: 127 x 229 мм;

- максимальная емкость тигля в режиме литья в опоку: 184 см³ (1439 г золота 585-й пробы или 1151 г серебра 999-й пробы);

- время цикла плавки и литья: 4 мин;

- максимальная температура: 1510 °С;

- потребляемая мощность: 5 кВт.

- масса установки – 132 кг;

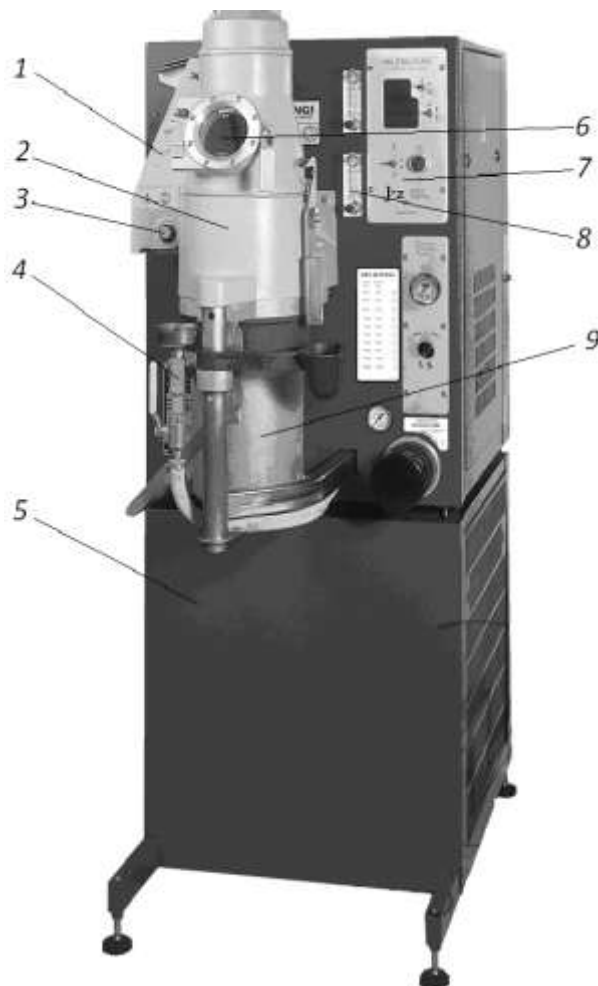
- параметры электропитания: напряжение сети 220 В, сила тока 45 А;

- защитная среда: аргон или азот.

- габаритные размеры (без системы водяного охлаждения): 890 (высота) x 560 x 970 мм.

В комплект установки дополнительно могут быть включены:

- система динамического контроля давления при заливке опоки;
- гранулятор;
- вакуумный насос;
- автономный блок системы водяного охлаждения, вмонтированный в основание установки.



1 – съемная панель для доступа в машину; 2 - плавильная камера с индуктором и тиглем; 3 - главный выключатель; 4 - встроенный вакуумный насос; 5 - подставка-холодильник; 6 – смотровое окно; 7 - компьютер управления; 8 - контроль защитной атмосферы; 9 – литейная камера для установки опоки

Рисунок 2.46 - Общий вид литейной установки «NEUTEC J-zP»

2.8.2.3.2 Литейные установки TOPCAST

Вакуумные литейные установки TOPCAST (Италия) серии TVC (рис. 2.47) [28] характеризуются полной автоматизацией, простотой в эксплуатации и предназначены для небольших и средних участков ювелирно-

го литья. Данные машины работают по традиционному принципу вакуумирования камеры с опокой и создания избыточного давления в плавильной камере при заливке металла, при этом предпочтительнее применять перфорированные опоки.

Плавление металла осуществляется в защитной атмосфере (азота, аргона или гелия). Среднечастотное индукционное перемешивание обеспечивает достижение максимальной гомогенности расплава. Мощный вакуумный насос используется для усиления эффекта засасывания металла в форму, в то время как заливка металла осуществляется при действии избыточного давления из плавильной камеры, что позволяет существенно снизить усадочную пористость.

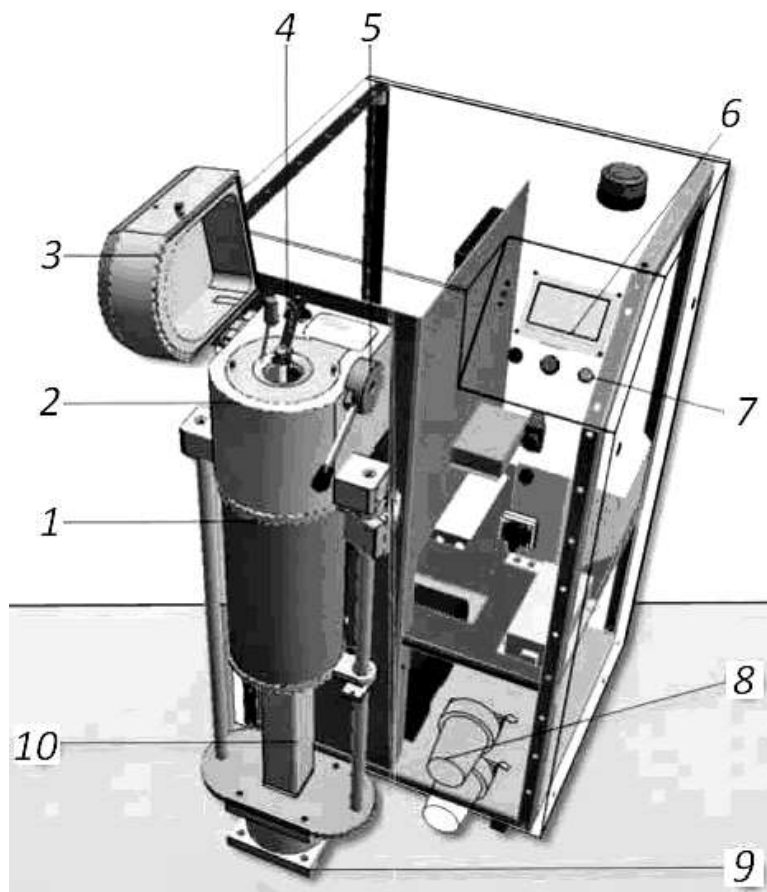
В процессе затвердевания и охлаждения залитого металла опока охлаждается в защитной атмосфере инертного газа для предотвращения окисления.

Высота используемых опок может достигать 300 мм, а диаметр – 160 мм. Срок службы графитового тигля и стопора существенно повышен (250 циклов плавки в зависимости от качества графита) за счет применения специальной системы промывки камер инертным газом, при проведении которой воздух удаляется из камеры в течение нескольких секунд и заменяется инертным газом. По сравнению с традиционными системами защиты тигля (вытеснением кислорода инертным газом путем нагнетания газа в воздушную среду камеры) в установках TOPCAST TVC расход инертного газа и окисление сплава минимальны.

Технические характеристики модельного ряда TOPCAST TVC приведены в таблице 2.21 [28].

Таблица 2.21 – Технические характеристики плавильных установок TOPCAST TVC

Модель	TVC3	TVC4	TVC10
Количество программ	1	1	8
Емкость тигля	1 кг золота 0,5 кг серебра	2 кг золота 1 кг серебра	3 кг золота 1,5 кг серебра
Макс. диаметр опоки, мм	150	150	150
1	2	3	4
Макс. высота опоки, мм	280	280	280
Мощность индуктора, кВт	3	4	10
Вакуумный насос	внешний	внешний	внешний
Избыточное давление, МПа	0,2	0,2	0,3
Макс. температура, °C	1400	1400	1400
Используемые металлы	Au, Ag, Cu, Zn, Al, латунь, бронза		



1 - вакуумная камера (камера для опоки); 2 - плавильная камера; 3 – крышка плавильной камеры; 4 - запорный шток тигля; 5 - запор плавильной камеры; 6 - экран управления «Touch-screen»; 7 - кнопки управления; 8 - фильтры вакуумной помпы; 9 - система пневматического подъема литейной камеры; 10 - система пневматического подъема опоки

Рисунок 2.47 – Схема общего вида плавильной установки
TOPCAST TVC

Установки TOPCAST TVC полностью автоматические, что существенно упрощает работу оператора: необходимо всего лишь загрузить металл, установить опоку и нажать кнопку «Start» и после цикла литья извлечь залитую форму.

Функциональные возможности установок TOPCAST TVC:

- плавильная и литейная (вакуумная) камеры - герметичны, это означает, что камеры абсолютно независимы;
- в установке можно использовать опоки с фланцем и без фланца, перфорированные и не перфорированные;
- установка имеет 100 программ литья; имеется возможность подключить установку к ПК; также возможно использование принтера для вывода результатов литья на печать;
- программирование и контроль литья осуществляются с помощью сенсорного (touch-screen) экрана.

2.8.2.3.3 Литейные установки INDUTHERM

Вакуумные литейные установки фирмы INDUTHERM (Германия) являются наиболее популярными индукционными вакуумными литейными машинами [11]. Особую популярность среди ювелиров получила модель VC 400 (рис. 2.48). Общий вид машины VC 400 представлен на рисунке 2.48, а схема ее плавления-заливочного узла – на рисунке 2.49.


На машине VC 400 металл плавится в индукционной печи в инертной газовой среде за несколько минут. Система контроля температуры плавки состоит из термопары, погруженной в расплав, и терморегулятора, который может контролировать температуру плавки с точностью 2...3 °С. Вакуумный насос установлен внутри самой машины. На установке под тиглем может быть установлено устройство для производства гранул золота, серебра или их сплавов.

Технические характеристики модельного ряда вакуумных литейных машин INDUTHERM приведены в таблице 2.22 [29].

Таблица 2.22 - Технические характеристики вакуумных установок INDUTHERM

Модель	Внешний вид установки	Технические характеристики
1	2	3
INDUTHERM VC300		<ul style="list-style-type: none">- ручное пневматическое управление;- мощность резистивного нагрева: 2 кВт;- напряжение питания: 220 В;- сила тока (однофазного): 10 А;- объём тигля: 245 см³;- вместительность тигля: 3 кг золота 750-й пробы;- варианты плавки металла: в вакууме, в нормальном атмосферном давлении, под защитой инертного газа или с избыточным давлением;- цифровой дисплей с индикацией температуры, вакуумный манометр и манометр избыточного давления;- габаритные размеры: 500x820x800 мм;- масса: 85 кг;- макс. габариты опок: Ø130x260 мм

Продолжение таблицы 2.22

1	2	3
INDUTHERM VC400		<ul style="list-style-type: none"> - ручное пневматическое управление; - мощность генератора: 3,5 кВт; - напряжение питания: 220 В; - объём тигля: 170 см³; - вместительность тигля: 2 кг золота 750-й пробы; - варианты плавки металла: в вакууме, в нормальном атмосферном давлении, с избыточным давлением; - цифровой дисплей с индикацией всех рабочих процессов установки; - габаритные размеры: 500x760x1300 мм; - масса: 100 кг; - макс. габариты опок: Ø130x260 мм
INDUTHERM VC600		<ul style="list-style-type: none"> - полностью автоматическое управление; - 100 программ плавки; - мощность генератора: 10 кВт; - напряжение питания: 400 В; - сила тока (трехфазного): 20 А; - объём тигля: 386 см³; - вместительность тигля: 5,8 кг золота 750-й пробы; - макс. температура нагрева: 1700 °С; - варианты плавки металла: в вакууме, в нормальном атмосферном давлении, с избыточным давлением (до 3 атм.); - без окислительная среда в литейной камере; - цифровой дисплей с индикацией всех рабочих процессов установки; - габаритные размеры: 500x820x1450 мм; - масса: 130 кг; - макс. габариты опок: Ø 130x260 мм

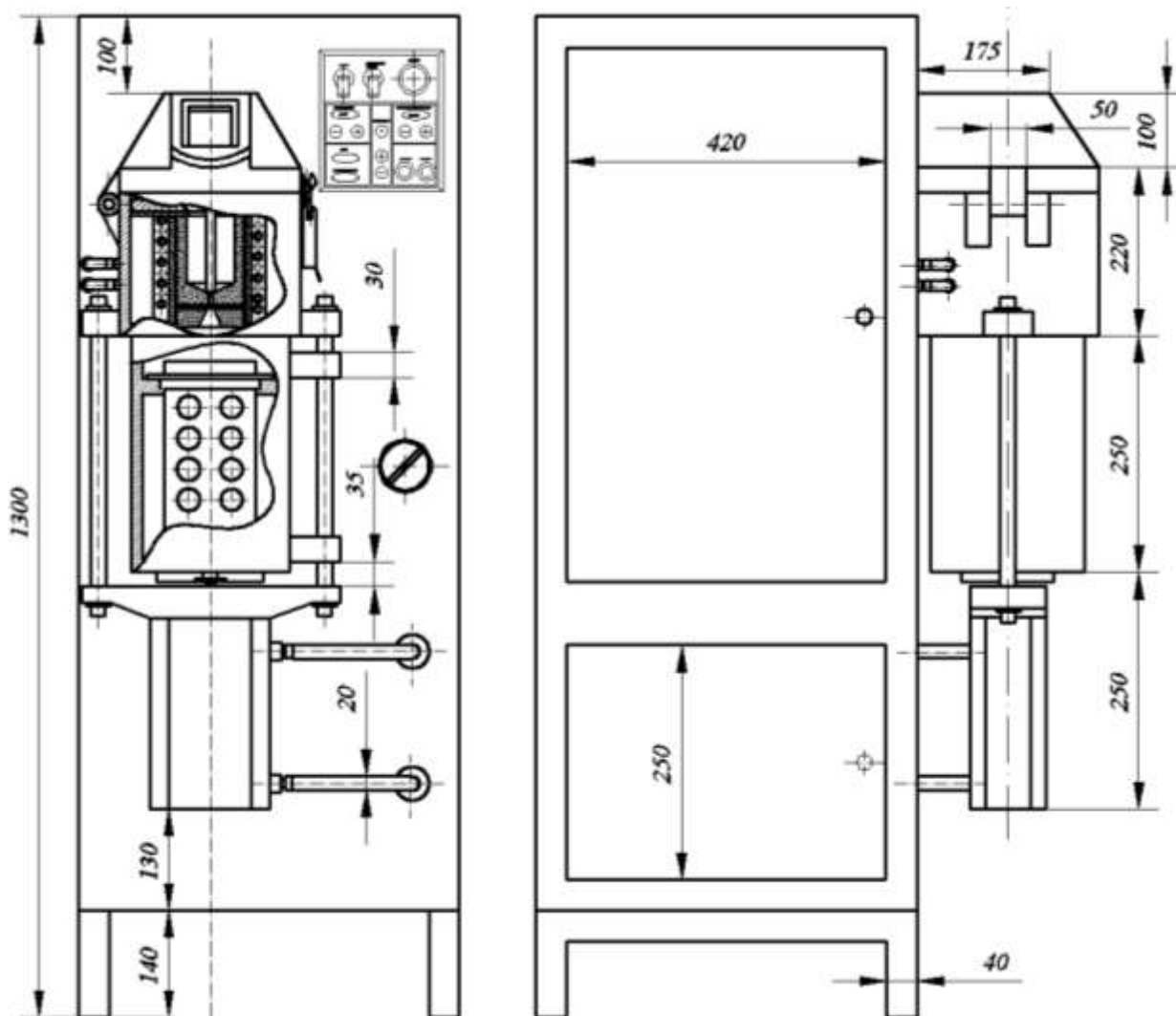
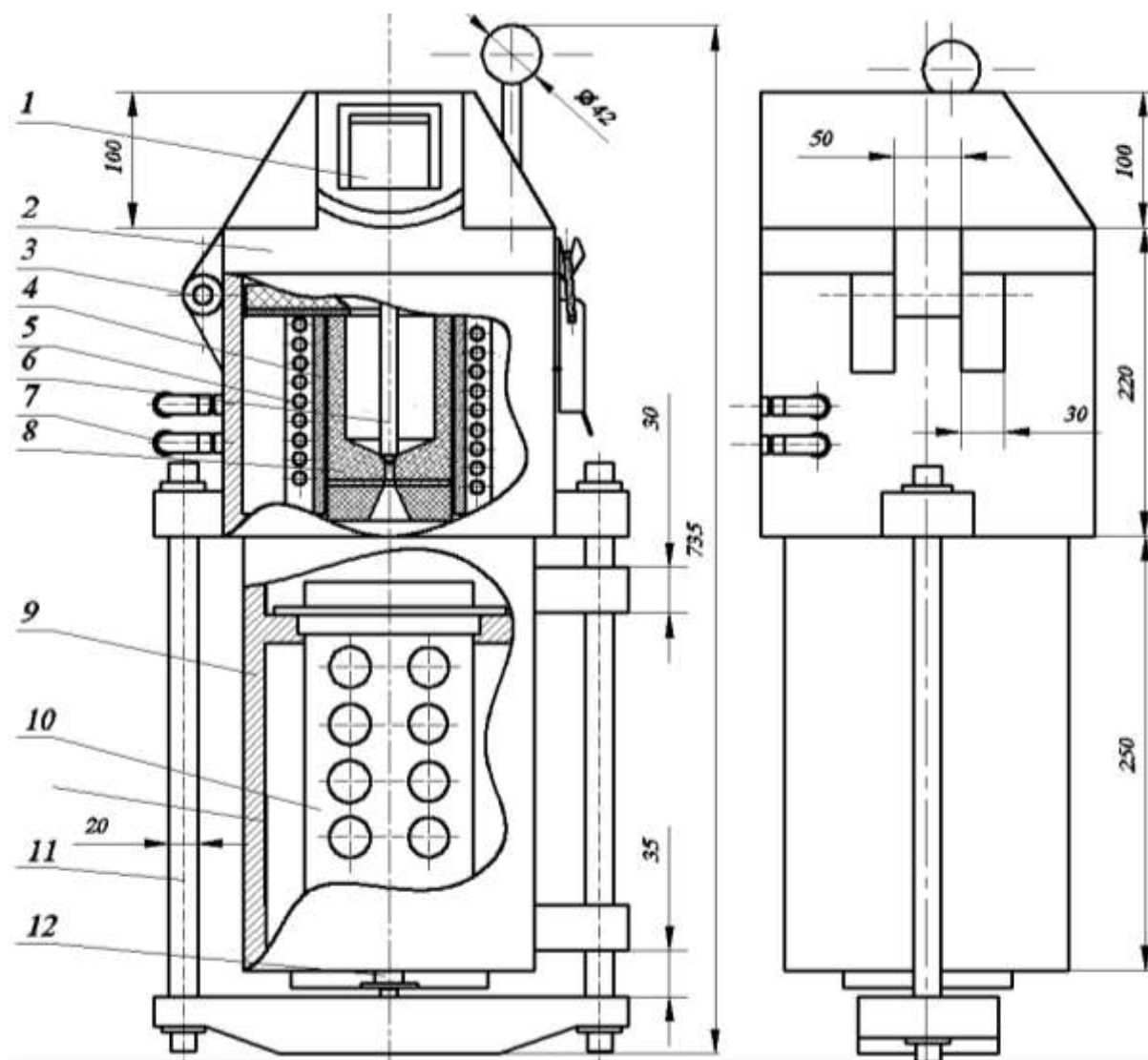


Рисунок 2.48 – Общий вид вакуумной литейной установки
INDUTHERM VC400



1 – смотровое окно; 2 – крышка плавильной камеры; 3 – ось поворота крышки плавильной камеры; 4 – теплоизоляция; 5 – индуктор; 6 – стопор; 7 – штуцеры для подачи (отвода) охлаждающей жидкости для индуктора; 8 – тигель; 9 – заливочная камера; 10 – литейная форма; 11 – рама; 12 – подставка-подъемник для формы

Рисунок 2.49 - Плавильно-заливочный узел установки INDUTHERM VC400

2.8.3 Плавильные тигли

Во всех литейных установках для плавки ювелирных сплавов используют тигли. Тигли изготавливаются из графита, глины и керамики. Тигли бывают цилиндрические для плавки в индукционных печах и печах с электрическим сопротивлением, конусные для плавки в газовых печах и керамические для центробежных литейных машин.

Среди основных требований, которые предъявляются к материалам тиглей можно выделить два приоритетных:

- материал тигля должен выдерживать требуемую температуру;
- материал тигля не должен вступать во взаимодействие с материалом, который обрабатывается в данном тигле.

Указанным выше требованиям лучше всего удовлетворяют тигли из графитовых и углеродных материалов, а также глиняные (гессенские).

Схема типового графитового тигля для индукционных печей, применяемых для плавки ювелирных сплавов, приведена на рисунке 2.50. Модельный ряд графитовых тиглей и их характеристики приведены в таблице 2.23, 2.24 [30].

Верхушка графитового тигля (см. рис. 2.50) сделана массивной, сохраняющей температуру металла в тигле при его перемещении и сливе металла. Специальная канавка на вершुшке тигля позволяет надежно зажимать тигель щипцами. Общая емкость тигля на 15...20 % больше указанной, то есть по реально сплавляемому максимальному количеству металла.

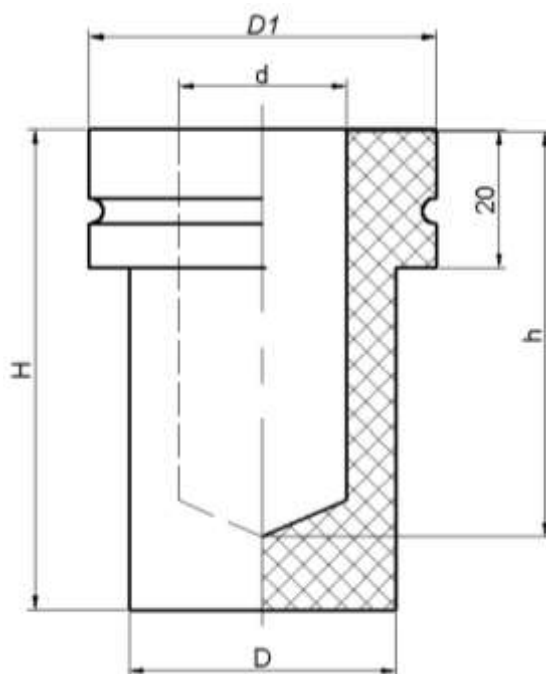


Рисунок 2.50 – Графитовый тигель для плавки ювелирных сплавов

Таблица 2.23 – Размеры графитовых тиглей

Размер	Тигель-70	Тигель-140	Тигель-230	Тигель-380
V _m – емкость под металл, см ³	70	140	230	380
V _o – полная емкость, см ³	82	157	256	433
H – высота тигля, мм	90	120	110	110
h – глубина, мм	70	110	90	90
D – внешний диаметр, мм	54	60	80	100
d – внутренний диаметр, мм	38	44	60	80
D1 – диаметр вертушки, мм	64	70	-	-

Таблица 2.24 – Максимальная металлоемкость графитовых тиглей

Металл (сплав)	Тигель-70	Тигель-140	Тигель-230	Тигель-380
Медь, г	580	1160	2000	3300
Серебро, г	700	1400	2400	3800
Золото, г	1250	2500	4400	7000
585 проба, г	900	1800	3000	5000

Графитовые тигли имеют высокую химическую и температурную стойкость. Их изготавливают из графита, который размалывают и смешивают с глиной. Перед первым употреблением тигель медленно нагревают и прокаливают. При первом подогреве внутренняя поверхность тигля должна быть обработана бурой для предотвращения шелушения его поверхности и, следовательно, загрязнения плавки.

Рекомендации по изготовлению графитовых тиглей [30]:

- для каждой индукционной печи соответствует свой размер графитового тигля, поскольку геометрические размеры тигля - диаметр, высота и материал тигля, а также расположение тигля в индукторе определяют характер нагрузки индукционной установки и влияют на режим работы установки и количество передаваемой мощности в графитовый тигель;

- на развиваемую мощность индукционной печи особенно влияет наружный диаметр тигля D, высота H и расположение тигля по высоте в индукторе. Тигли должны изготавливаться по указанным размерам, не должны иметь трещин, сколов.

Рекомендации по эксплуатации графитовых тиглей [30]:

- графит хоть и обладает стойкостью к термоударам и прочнее керамики - материал достаточно хрупкий, который при ударной нагрузке раскалывается; графитовые тигли требуют осторожного обращения;

- металл в тигель желательно помещать, после нагрева тигля до темно-красного цвета; для загрузки сыпучих материалов и гранул рекомендуется использовать совok из нержавеющей стали с длинной ручкой; для загрузки кусков металла и слитков рекомендуется использовать пинцет;

- для уменьшения обгорания тигля, его можно «оббурить», т. е. покрыть расплавленной бурой (борной кислотой), однако нужно быть осторожным, поскольку бура разрушает футеровку и кварцевые палочки;
- при работе, желательно не оставлять разогретый тигель открытым, для уменьшения потока воздуха, ускоряющего обгорание тигля;
- при подаче наддува аргона через теплоизоляционную крышку в зону плавки на зеркало расплава, срок службы тигля существенно увеличивается;
- при необходимости, после плавки, когда тигель остынет, его очищают от остатков металла плоской металлической пластиной, не имеющей острых краев.

Гессенские глиняные тигли (рис. 2.51) изготавливают из жирной глины, не содержащей железа и извести. Примеси кварцевого песка и шамотной муки предотвращают растрескивание и усыхание тиглей. Они дешевле и прочнее графитовых, но срок их эксплуатации меньше. Перед эксплуатацией их также прокаливают и глазуруют бурой, прилипшие остатки металла не выбирают, а выплавляют вместе с бурой.

Каждый плавильный тигель, применяемый для плавки ювелирного сплава, должен применяться для металла определенной пробы, поэтому, снаружи на стенке тигля делают соответствующую маркировку.

Тигли для вакуумных литейных установок ювелирного производства изготавливаются из чистых огнеупорных материалов и не содержат никаких примесей, которые могли бы загрязнить или деформировать расплавляемые в них сплавы. Для обеспечения более продолжительного срока службы тигля рекомендуется его предварительный нагрев в течение 5...10 минут перед применением в той же печи, в которой прокаливаются литейные опоки. Рекомендуется также удалять после каждой плавки шлак, остающийся внутри тигля.



Рисунок 2.51 – Глиняные тигли для плавки ювелирных сплавов

Многие сплавы во время плавления покрываются поверхностным слоем окалины, обычно темного цвета, что приводит к искажению считываемой температуры, вызывая перегрев сплава с вероятностью поломки

тигля. Эта проблема легко решается путем удаления корки окалины с помощью специальных керамических смесителей.

Испарения, которые исходят от сплавов, могут привести к загрязнению оптической системы устройства для считывания температуры, также вызывая вредный перегрев сплава и тигля. Во избежание таких последствий рекомендуется периодически очищать эти части.

Загрузка в тигель кусков металла, которые из-за своей формы или размера могут вклиниваться в стенки тигля, может привести к его поломке. Во время нагрева эти куски расширяются, оказывая значительное давление на стенки тигля, вызывая их прогибание.

Керамические тигли [31], применяемые в центробежных литейных установках (рис. 2.52), обеспечивают надежную работу при жестком режиме их эксплуатации в условиях индукционного нагрева металла, когда разогрев в них металла до температуры плавления порядка 1350...1550 °С происходит очень быстро (в течение 0,5...1,0 мин.). При этом необходимо учитывать неравномерность разогрева керамического тигля, так как количество расплавленного в нем металла при центробежном литье составляет 10...15 % от объема тигля, что усложняет условия работы тигля.



*Рисунок 2.52 – Керамические тигли
для центробежных литейных установок*

Для обеспечения качественной работы керамического тигля необходимо выполнять определенные правила его эксплуатации, поскольку стойкость керамического тигля зависит от типа печи, от типа сплава, от температурного режима плавки, а также от ряда других факторов. Существует ряд рекомендаций, одинаково применимых при любых условиях эксплуатации керамических тиглей, которые необходимо строго соблюдать [31]:

- сначала керамический тигель необходимо помещать в индуктор центробежной литейной установки без предварительного разогрева тигля;
- в процессе индукционной плавки длительность выдержки тигля при максимальной температуре не должна превышать 3 минут;
- после окончания разлива металла керамический тигель необходимо извлечь из индуктора центробежной машины и поместить на огнеупорную поставку для охлаждения его на воздухе (быстрое охлаждение тигля необходимо для продления срока его службы, поскольку медленное охлажде-

ние приводит к интенсификации процесса кристобалитизации, что существенно снижает стойкость тигля);

- повторную плавку необходимо осуществлять только после остывания тигля до температуры не более 50 °С (охлаждение тигля можно ускорить путем принудительной подачи воздуха).

Кроме этого, с целью увеличения срока службы керамического тигля, следует соблюдать следующие дополнительные рекомендации:

- без необходимости не рекомендуется перегревать расплавленный металл выше требуемой температуры;

- не следует без необходимости надолго оставлять тигель, разогретый до рабочей температуры в печи;

- категорически запрещается повторно разогревать тигель с застывшим в нём металлом, так как при нагреве происходит расширение металла, что может привести к разрушению тигля;

- - при отключении печи жидкий расплав необходимо обязательно удалить из тигля;

- тигель должен быть тщательно очищен от шлаков и налипшей корки застывшего металла;

- шлаки рекомендуется аккуратно счищать с внутренней поверхности горячего тигля с помощью металлического скребка или лопатки, не имеющих острых углов.

2.8.4 Особенности плавки сплавов золота

Существует три основных способа плавления сплавов золота: при помощи газовой горелки, печей электрического сопротивления и индукционного нагрева. Нагревательные системы электрического сопротивления широко использовались для плавки до сравнительно недавнего внедрения индукционного нагревания. Нагревание сопротивлением позволяет работать в закрытом пространстве, где возможно контролировать атмосферу. Плавление можно выполнять в инертном газе (азоте или аргоне) или в слегка восстановительной атмосфере (азотно-водородная смесь). При таком способе нагрева трудно достичь высоких температур, требуемых для плавления некоторых типов белого золота. Существенным недостатком электропечей сопротивления также является сравнительно большая длительность процесса плавки.

Индукционный нагрев, как было показано выше - наиболее современный способ, используемый практически всеми литейными установками последних поколений. Индукционное плавление происходит очень быстро, оно сочетает размешивание металла с быстрой термальной и химической гомогенизацией. Эффект размешивания тем больше, чем ниже частота индукционного нагрева.

Плавление является очень важным этапом литья ювелирных сплавов по выплавляемым моделям. Поэтому очень важно следовать некоторым основным правилам или положениям плавки [16]:

1) перед плавлением следует подсчитать требуемое количество драгоценного сплава: объем восковой «елки», умноженный на плотность сплава, дает минимальную массу сплава, требуемую для плавки; также еще некоторое количество сплава добавляется для литниковой воронки;

2) количество вторично используемого сплава (возврата) в расплаве должно сводиться к минимуму - для работы следует использовать не более 50 % отходов;

3) любой вторично используемый сплав для переплавки должен быть идеально чистым, без оксидов и остатков формомассы;

4) предпочтительнее использовать гранулированные сплавы; если используются отходы предыдущих операций, перед литьем их рекомендуется переплавить в гранулы;

5) после плавления расплав необходимо размешать, чтобы обеспечить полную гомогенизацию; в современных индукционных литейных установках размешивание выполняется под действием электромагнитных сил; в открытых печах при нагревании горелкой или путем электросопротивления размешивание выполняется вручную при помощи огнеупорной палочки, чтобы избежать загрязнения расплава;

6) в расплавленном состоянии металл должен находиться минимальное количество времени, чтобы ограничить окисление и потерю испаряющихся легирующих элементов;

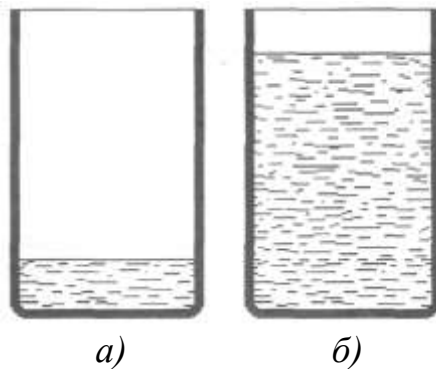
7) перед заливкой расплавленный металл следует нагреть до температуры, выше чем температура плавления сплава (перегреть); требуемый интервал перегрева зависит от сплава, типа отливаемых изделий, а также от типа литейного оборудования; в любом случае степень перегрева должна быть минимальной: она может варьироваться в пределах от 50°C для тигля с донной разливкой в современной литейной машине до 75..100°C в тиглях с открытым верхом.

Далее пойдет речь о технологии плавки сплавов золота в электрических, газовых печах или открытым пламенем, т.е. без использования защитных вакуумной или газовой сред [4].

Перед началом плавки необходимо подобрать плавильный тигель соответствующей емкости - расплавленный металл должен заполнить тигель почти доверху.

Возможные варианты загрузки тигля представлены на рисунке 2.53.

Первый вариант загрузки тигля (рис. 2.53, а) увеличивает степень окисления расплава, связанную с быстрым ухудшением характеристик графитового тигля (разрушение тигля и науглероживание металла). Это ведет к уменьшению прочности металла. Второй вариант (рис. 2.53, б) позволяет получить металл с приемлемой степенью окисления.



а – неправильно; б - правильно

Рисунок 2.53 – Варианты загрузки металлошихтой плавильных тиглей

Перед загрузкой тигель желательно прогреть до температуры 500 °С. Эта процедура необходима для удаления влаги, сконденсировавшейся внутри тигля за время, пока он не использовался. Если тигель не будет предварительно прогрет, то интенсивно испаряющаяся и разлагающаяся на кислород и водород вода в тигле, будет способствовать загрязнению расплава этими примесями, что, в конечном итоге, приведет к образованию пор в отливках и увеличению их хрупкости.

Материалы, которые загружаются в плавильный тигель для получения расплава, называются шихтовыми, или шихтой. Шихта может быть в виде чистых металлов, бракованных слитков и изделий, лома, обрезков, стружки и опилок и других отходов ювелирного производства.

Шихтовый материал, в зависимости от степени и характера загрязнения, следует подвергать различной обработке. Возвратные отходы от переработки драгоценных металлов своего производства (литники, высечка, стружка, обрезки и др.), не вызывающие сомнения в отношении содержания основных и легирующих компонентов, поступают в плавку без предварительной подготовки. Отходы драгоценных металлов (опилки, мелкие обрезки, стружка), загрязненные в процессе работы, проходят очистительную обработку и только после этого поступают в плавку.

Шихтовые материалы, загрязненные вредными примесями (металлами, не отвечающими составу сплава; материалами, отрицательно влияющими на свойства сплава, и т. д.), подвергают предварительной плавке, а затем отправляют на аффинажные заводы или на заводы вторичных драгоценных металлов.

Отходы драгоценных металлов, возвращающиеся после отделочных операций (опилки, стружка, мелкие обрезки и т. д.), не могут быть не загрязнены и их обязательно подвергают очистке: собранные опилки прокаливают в муфельной печи для удаления всех сгорающих примесей (дерева, воска, щетины от щеток, бумажной и другой пыли); остывшую шихту разрыхляют и тщательно примагничивают для извлечения стальных примесей (опилок, обломков лобзиковых пилок и сверл, окалины). Очищенные таким образом отходы драгоценных металлов можно считать подготовленными

ными к плавке для получения слитка и определения его на пригодность к дальнейшему использованию.

Последовательность загрузки зависит от величины и состояния шихты (крупные куски, слитки или мелкие обрезки, стружка и т. д.), состава и температурных характеристик компонентов входящих в сплав.

При плавке однородного металла шихту можно загружать в тигель одновременно, если плавильная печь обеспечивает быстрый нагрев шихты. В противном случае сначала загружают крупные куски или брикеты, а по мере расплавления их добавляют мелкие обрезки и другие отходы. Расплав из золота нагревают до 1200...1250 °С, серебра – до 1100...1150 °С.

Для приготовления двойных золотосеребряных сплавов загрузку шихты начинают с серебра. Его загружают на дно тигля, а сверху засыпают золото и расплавку ведут одновременно, если куски шихты приблизительно одного размера. Если же величина шихтовых материалов различна, то загружают сначала крупные куски, а по мере их расплавки добавляют мелкие, серебряные или золотые. Температура нагрева расплава для золотых сплавов с содержанием до 30 % Ag – 1200...1250 °С, для сплава с содержанием 40...70 % Ag – 1180...1240 °С, для сплава с содержанием 80 % Ag – 1170...1230 °С.

При легировании золота медью (приготовление двойных золотомедных сплавов) плавку шихты начинают с золота. Если величина шихтовых материалов различна, то вначале плавят слитки и крупные куски золота, а затем догружают мелочь. Медь загружают только после того, как полностью расплавится золотая шихта. Для всех сплавов с содержанием меди в качестве медной лигатуры используют прокат марок не ниже М1. Расплав, содержащий до 2 % Cu, нагревают до 1190...1250 °С; 8,4 % Cu – до 1180...1240 °С; 42,7 % Cu – до 1150...1230 °С.

При приготовлении тройных золотосеребряномедных сплавов сначала загружают золото и серебро, а затем в золотосеребряный расплав – медь. Нагрев расплава производится: для сплава 958-й пробы до 1180...1240 °С; 750-й – до 1180...1200 °С; 585-й – до 1080...1200 °С; 500-й – до 1070...1160 °С; для сплавов 375-й пробы до 1120...1230 °С.

Загрузку золотоникелевомедного сплава начинают с золота. После его расплавления догружают никель и медь. Тигель нагревают на 150...250 °С выше температуры полного расплавления.

При плавке серебряных сплавов загрузку тигля начинают с серебра и после полного расплавления загружают медь. Для сплавов серебра 875-й пробы и выше температура нагрева 1090...1140 °С.

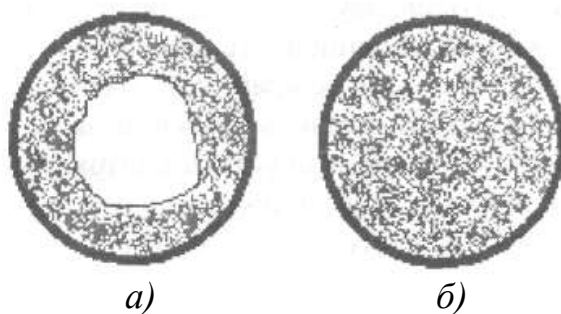
Плавку золотых припоев с содержанием легкоплавких металлов цинка и кадмия можно производить двумя способами:

- 1) цинк и кадмий вводят в расплав в последнюю очередь подогретыми до температуры 150 °С;

- 2) сначала создают промежуточные лигатуры легкоплавких металлов с медью при постепенном нагревании металлов, а затем сплавляют весь набор сплава.

При плавке драгоценных металлов и сплавов для предохранения расплавов от окисления, насыщения кислородом и другими газами из окружающей среды, а также для верхней теплоизоляции расплавов (для сокращения расходов, теплоты на плавку) применяют следующие защитные покровы: древесный уголь, буру, борную кислоту, хлористый кальций, хлористый натрий, хлористый калий, хлористый барий.

В процессе плавки, если смотреть внутрь тигля на расплавленный металл, то можно видеть два различных вида расплава, изображенных на рисунке 2.54.



а – неправильно; б – правильно

Рисунок 2.54 - Виды расплава внутри тигля

В первом случае (рис. 2.54, а) борная кислота не полностью закрывает поверхность расплавленного металла, следовательно, расплав не полностью изолирован от внешней среды. Поэтому, расплавленный металл в окислительной среде будет вступать в реакцию с кислородом, находящимся в составе воздуха.

Во втором случае (рис. 2.54, б) 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). Следовательно, в первом случае необходимо еще добавить 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 °С.

Перед литьем расплав обязательно перемешивают графитным или керамическим стержнем для получения однородной структуры сплава. Затем с помощью холодного графитового или керамического стержня удаляют борную кислоту. Если расплавленная борная кислота очень жидкоподвижная, то для увеличения ее вязкости в тигель следует дополнительно ввести немного порошка борной кислоты. Это уменьшит температуру рас-

плава и увеличит вязкость, позволяя тем самым легко удалить борную кислоту.

За 2...3 минуты до заливки сплав необходимо раскислить 0,1 % фосфористой меди или 0,05 % цинка от массы шихты.

При заливке металла в форму возможны следующие отклонения от нормы:

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, то происходит резкое увеличение пористости и образование усадочных дефектов;

3) если температура опоки высокая, то металл остывает медленно, что приводит к ухудшению чистоты поверхности отливок, образованию пористости и усадочных дефектов;

4) если температура опоки слишком низкая, то залитый расплавленный металл будет резко охлаждаться и затвердеет раньше, чем он заполнит тонкостенные элементы модельной полости; температура опоки должна быть настолько низкая, насколько это возможно для получения качественных отливок.

Отсюда следует, что заливку металла в опоку необходимо осуществлять 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.

После заливки охлаждение форм должно происходить достаточно быстро. Сплавы золота с медью и серебром при быстром охлаждении приобретают мягкость и пластичность, а при медленном - твердость и хрупкость.

Время охлаждения определяется опытным путем:

- отливки из желтого золота 585-й пробы, а также из серебра, выдерживают на воздухе до потускнения затвердевающей литниковой чаши;

- отливки из золота 750-й пробы охлаждают на воздухе до комнатной температуры;

- отливки из белого золота 585-й пробы охлаждают на воздухе в течение 15 мин.

После такой выдержки охлаждение форм продолжают в течение 1...2 минут в теплой воде при температуре 60 °С или в смеси воды и спирта (50 на 50). Температура металла при этом не должна превышать 600 °С. Наибольшая пластичность достигается при охлаждении в масле. Если нет возможности измерить температуру, то следят, чтобы видимая часть литника была потемневшей. Далее опоку помещают в холодную воду для окончательного охлаждения. После охлаждения отливки выбивают из литейных форм и производят очистку от формовочной смеси под струями холодной воды.

2.8.4.1 Плавка опилок сплавов золота

Плавку опилок сплавов золота обычно проводят в электропечах, используя графитовые или шамотные тигли, в следующем порядке [4]:

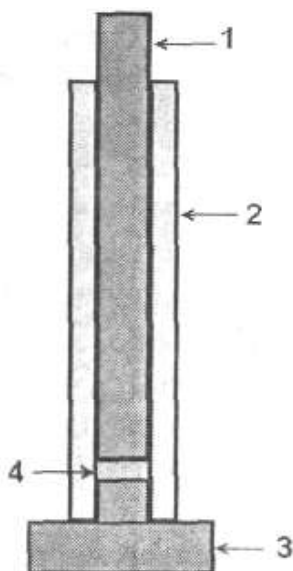
1) очистить опилки от частиц железа с помощью постоянного магнита;

2) очистить опилки от неметаллических примесей (органики), прогревая их в металлической чаше;

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 специального пресса (рис. 2.55). Принцип действия пресса заключается в следующем: ударами молотка на ползун (1), размещенный в трубке (2), создают давление между основанием пресса (3) и нижним торцом ползуна, где находится смесь с опилками (4);



1 – ползун; 2 – трубка; 3 – основание пресса; 4 – смесь с опилками

Рисунок 2.55 - Схема пресса для приготовления таблеток из опилок сплавов золота

6) загрузить в предварительно прогретый до температуры 800 °С тигель полученные таблетки и отходы сплавов золота и провести плавку;

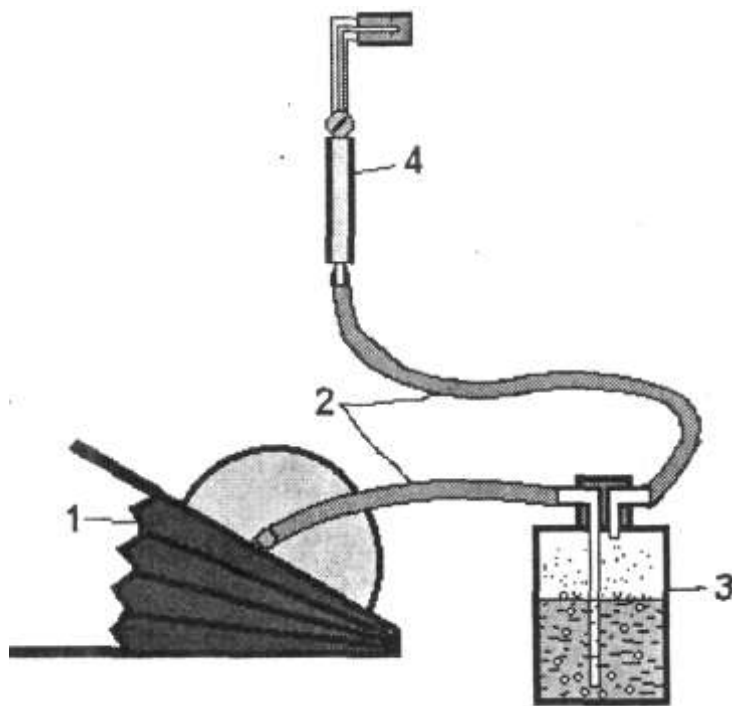
7) в течение плавки перемешивать расплав графитовой палочкой.

2.8.4.2 Плавка сплавов золота открытым пламенем

Плавку сплавов золота в небольшом количестве (50...80 грамм) можно осуществить открытым пламенем с помощью бензиновых или газовых горелок. Плавка сплавов с помощью горелки - наиболее старый способ и находит все меньше применения в современной ювелирной промышленности. Практически все типы сплавов можно плавить при помощи горелки.

При использовании газовых горелок для нагрева предпочитается пропан или природный газ, предпочтительно, по причине того, что они дают более чистое пламя, чем ацетилен [16]. Пламя для плавки должно быть восстановительным: оно имеет неправильный контур, окрашено в ярко-синий цвет и издает мало шума. Восстановительное пламя имеет низкое содержание кислорода, поэтому оно захватывает кислород из атмосферы и защищает расплав от окисления.

На рисунке 2.56 показана схема бензино-воздушной горелки. Она состоит из насоса (1), который приводится в действие ногой. 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 °С и периферийной - с температурой 800...900 °С [4].



1 – насос; 2 – трубка; 3 – бак с бензином; 4 - пистолет

Рисунок 2.56 - Схема бензино-воздушной горелки

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 системы Au-Ag-Cu 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 Au-Ag-Cu, необходимо 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, необходимо положить цинк (кадмий) и опустить слиток. Вследствие диффузии, цинк (кадмий) проникает в основной сплав.

Для раскисления сплава золота системы Au-Ag-Cu также можно использовать, например, сплав меди с цинком (латунь).

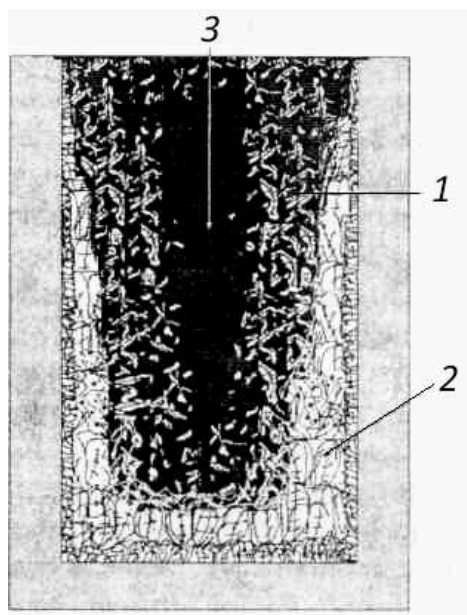
Расплавленный в плавильной чаше металл должен иметь температуру разлива, на 50...70 °С превышающую верхнюю границу его температурной зоны плавления.

2.8.5 Особенности кристаллизации сплавов золота

Сплавы золота, применяемые для литья, представляют собой в основном сплавы типа твердых растворов. Затверждение таких сплавов начинается продвижением фронта кристаллизации от стенок формы вглубь отливки. При затверждении сплава можно выделить три зоны кристаллизации по сечению отливки (рис. 2.57):

- зона жидкого металла в тепловом центре отливки;
- зона твердого металла у стенки формы;
- область затвердевания, в которой одновременно существуют жидкий и твердый металл.

Расплавленный металл при затвердении кристаллизуется по следующей схеме (рис. 2.58). Температурный интервал кристаллизации сплавов золота составляет 30...40 °С. При охлаждении расплава между границами солидус и ликвидус развиваются области с образованием центров кристаллизации. Каждый центр представляет собой объединение вначале нескольких атомов, располагающихся по типу решетки, свойственной для строения данного компонента сплава, затем к этим центрам присоединяются другие новые атомы – образуются группы твердых кристаллов (дендриты). Если дендриты вырастают против потока тепла, их называют столбчатыми, если же беспорядочно, то их называют разноосными (рис. 2.59).



1 – двухфазная область твердожидкого металла; 2 – зона твердого металла; 3 – зона жидкого металла

Рисунок 2.57 – Зоны затвердевания отливки

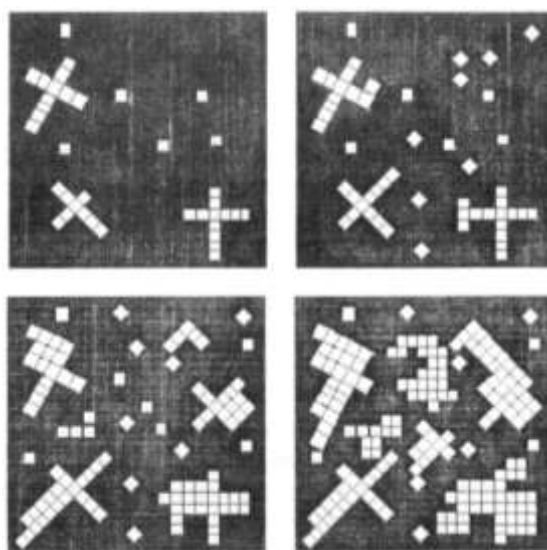
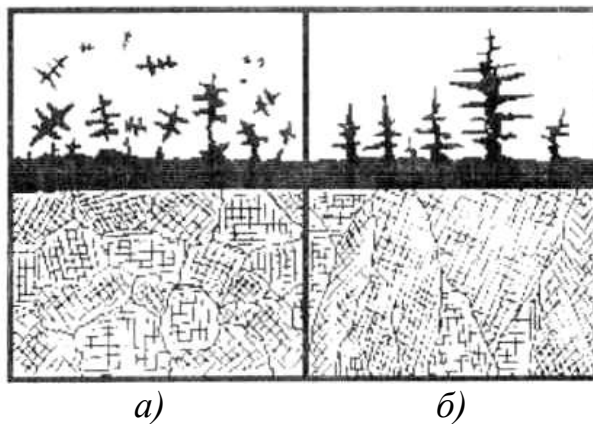


Рисунок 2.58 – Этапы кристаллизации расплава при охлаждении

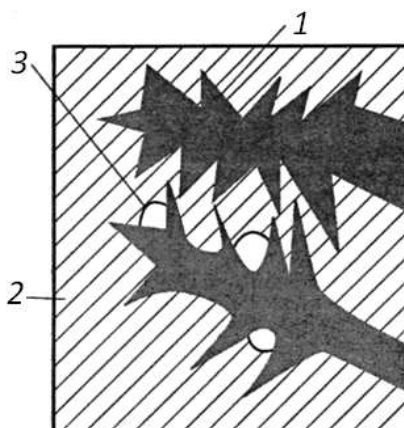
Ветви дендритов сталкиваются и, переплетаясь друг с другом, создают каркас сросшихся дендритов внутри двухфазной области расплав, где все еще остается часть не закристаллизовавшегося жидкого металла. Небольшие включения или примеси выталкиваются дендритами, а пустоты становятся обычной пористостью.



а) разносные кристаллы; б) столбчатые кристаллы

Рисунок 2.59 - Схема образования дендритной структуры

На рисунке 2.60 показаны два сросшихся дендрита, в пересечении осей первого и второго порядка имеются пустоты, которые прилипают к дендритам. Если в сплаве имеются инородные частицы, они прилипают к газовым включениям и ухудшают качество сплава. От таких загрязнений избавляются путем нескольких переплавок металла.



1 – дендрит; 2 – жидкий расплав; 3 – пузырек газа

Рисунок 2.60 – Схема роста дендритов

Процесс кристаллизации зависит от степени охлаждения металла при затвердении. Чем больше скорость охлаждения, тем больше в металле центров кристаллизации, тем более мелкозернистой будет структура металла. При медленном затвердении металл будет крупнозернистым. Структура металла определяет его механические качества (твердость, пластичность,

упругость). При литье структуру металла (сплава) можно изменять: при литье в холодную форму структура получится мелкозернистая, в горячей форме – крупнозернистая.

При затвердении сплава вследствие уменьшения объема металла в отливках могут образоваться усадочные раковины и пористость (рис. 2.61). Они образуются следующим образом. После заливки металла в форму его поверхностный слой, соприкасаясь со стенками формы, начинает твердеть раньше, чем центральный слой. По мере затвердения центрального слоя металл в этой части уменьшается в объеме, образуются пустоты – усадочные раковины. Чаще всего они образуются в тех местах, где имеется переход тонкой части детали в массивную. Чрезмерная толщина стенок отливок вызывает появление пористости, усадочных рыхлот и раковин, что снижает прочность изделия.

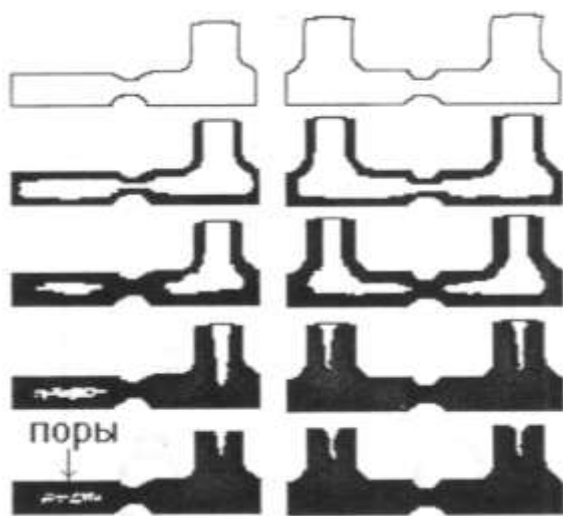


Рисунок 2.61 – Схема образования усадочной пористости при кристаллизации расплава

В таблице 2.25 приведены значения объемной усадки металлов и сплавов золота [11]. Как видно из данных таблицы 2.25, максимальную объемную усадку при затверждении имеют чистое золото и сплавы золота 750-й пробы, а минимальную - сплавы золота 585-й пробы.

С целью недопущения образования в отливках ювелирных изделий усадочных раковин, необходимо руководствоваться следующими правилами [11]:

- при конструировании литниковой системы необходимо предусматривать специальные питающие резервуары – прибыли (утолщения на литниках); объем прибыли должен быть достаточным для того, чтобы подпитывать годную часть отливки по мере ее затвердения;
- литниковый канал между отливкой и прибылью в сечении должен быть достаточно большого диаметра, чтобы в этом месте не наступило преждевременное затвердение;

- конструировать восковую «елку» необходимо так, чтобы каждая вышерасположенная ее часть подпитывала нижерасположенную;
- при заливке металла в форму температура его должна быть как можно более низкой - жидкий металл должен еще поступать в форму, когда часть металла уже затвердела.

Таблица 2.25 – Объемная усадка сплавов золота и его компонентов

Сплав (металл)	Объемная усадка, %
Золото	5,3
Серебро	3,8
Медь	3,9
ЗлСрМ 750-125	4,2
ЗлСрМ 585-80	2,8
ЗлСрМ 585-200	3,4
ЗлСрМ 585-300	3,6
ЗлСрМ 500-100	3,0
ЗлСрМ 375-100	3,7
ЗлСрМ 375-160	4,0

2.9 Отделение литья от формомассы

После операций литья и полного охлаждения металла в форме необходимо отделить отлитую «елочку» от материала формовочной массы. Отделение формомассы от металлической «елочки» производят следующими способами:

- при помощи водоструйной обработки под высоким давлением;
- мокрым галтованием;
- пескоструйной обработкой.

Вышеперечисленные процессы относятся только к формомассам на основе гипса. В случае с формомассами на фосфатном связующем отделение «елочки» от формомассы можно осуществить только механическим путем [16].

Простой и функциональной системой для удаления остатков формомассы является использование водоструйного аппарата, очищающего «елочку» при помощи воды, которая подается под большим давлением (100...120 атм.).

Установки для гидравлической очистки литья представляют собой герметичную кабину, изготовленную из нержавеющей стали. Кабина закрывается сверху прозрачным люком, изготовленным из плексигласа, позволяющим наблюдать за выполнением операции промывки струей воды. Формомасса эффективно откалывается от поверхности «елочки» благодаря сильному напору воды, подающейся под давлением 120 атм.

Примером установки для гидравлической очистки литья является водоструйная кабина Idroget 120 (рис. 2.62) производства фирмы Logimes (Италия) [32].



Рисунок 2.62 - Водоструйная кабина Idroget 120

Технические характеристики водоструйной кабины Idroget 120:

- габаритные размеры: 620 x 500 x 1400 мм;
- электропитание: 220 В;
- мощность водяного насоса: 2,2 л.с.;
- максимальное давление водяного насоса: 120 атм.;
- производительность водяного насоса: 8 л/мин.

Очистка ювелирного литья от формомассы в водоструйных аппаратах имеет ряд преимуществ:

- эффективное отделение формомассы от отливок;
- возможность регулирования давления водяной струи позволяет не деформировать и не разрушать тонкостенные и ажурные отливки;
- экологическая безопасность (установки работают без применения кислот, растворителей и др. вредных веществ);
- долговечность кабины, выполненной из нержавеющей стали;
- простота в работе благодаря автоматическому управлению;
- малая продолжительность операции очистки (1,5...2,0 мин.).

После отделения от металлической «елки» формомассы, ее подвергают отбеливанию в кислотных растворах с целью устранения окисленной поверхности отливок. После отбеливания елку промывают, сушат и подвергают визуальному анализу с целью выявления возможных поверхностных дефектов (непроливы, усадочная или газовая пористость и т.п.).

Далее производят отрезку отливок от стояка. Это можно сделать при помощи ручного или пневматического инструмента – бокорезов. Далее ювелирные отливки отправляются на финишную обработку.

2.10 Финишные операции ювелирного литья

После литья ювелирных изделий их подвергают операциям финишной обработки. Цель финишной обработки – получить ювелирные изделия с гладкой и блестящей поверхностью. Обработка поверхности изделий производится в определенной последовательности:

- 1) отбел;
- 2) шлифование;
- 3) полирование;
- 4) очистка поверхности от шлифовальных и полировальных паст.

2.10.1 Отбел литья

После отделения формомассы, если поверхность «елки» окислена (частый случай), ее следует тщательно отбелить в кислотной ванне.

Отбеливание – это процесс ювелирного производства, применяемый для очистки поверхности металлов от окислов и удаления остатков флюса, образующихся в процессе тепловой обработки (отжиг, плавка, пайка и др.). Отбеливанию подвергаются сплавы драгоценных металлов в различных видах (слитки, отлитые «елки» и готовые ювелирные изделия).

Концентрация и состав отбеливающих кислотных растворов зависит от сплава металла, подлежащего отбеливанию. На время отбеливания влияют температура и концентрация растворов.

Для сплавов золота наиболее часто используемый отбеливающий раствор – 20 %-й раствор серной кислоты, нагретой до температуры 50 °С. Для отбеливания отлитую «елочку» погружают в такой раствор и выдерживают в нем в течение 2 минут.

Если использовалась формомасса на фосфатном связующем, для отбеливания рекомендуется использовать [16] 50 %-й водный раствор фтористоводородной (плавиковой) кислоты, также подогретой до 50 °С с выдержкой в течение 5 минут.

Сплавы серебра отбеливаются в 5...10 %-ном растворе серной кислоты при 40...50 °С в течение 30 с. Может также применяться 1...2 %-й раствор соляной кислоты, нагретый до 30...40 °С с продолжительностью отбеливания до 1 минуты

Отбеливающие растворы помещают в ванночки из огнеупорного стекла или фарфора, в которых они устанавливаются на нагревательные приборы, оборудованные защитным кислотоупорным кожухом, и нагревают до необходимой температуры. Затем слитки или изделия, остывшие после тепловой обработки, укладывают в сетчатый ковш из кислотоупорного пластика или захватывают пинцетом из меди и опускают в отбеливающий раствор. После полного осветления окисленной поверхности (рас-

творения остатков флюса) слиток или изделие вынимают из отбеливающего раствора, промывают водой и погружают в раствор пищевой соды, чтобы нейтрализовать остатки кислоты. Далее изделие вновь промывают водой, а затем сушат.

В условиях небольших мастерских в качестве емкостей для отбеливания растворов и воды могут применяться бытовые стеклянные банки емкостью 0,5...1 л. Учитывая, что стеклянные банки с отбеливающим раствором подогревать нельзя, отбеливание слитков и изделий производится в специальной медной ложке. Ложку с удлиненной ручкой опускают в банку с отбеливающим раствором, затем вынимают и нагревают пламенем горелки до достижения определенной температуры и в нее опускают слиток или изделие. Затем слиток или изделие извлекают из ложки пинцетом, изготовленным из цветного металла, и промывают в банке с водой, после чего сушат с помощью пара, подаваемого под давлением [11].

При отбеливании ювелирных изделий следует руководствоваться следующими правилами:

- нельзя опускать в отбеливающий раствор раскаленные изделия, поскольку это может вызвать сильное разбрызгивание горячего кислотного раствора;

- нельзя также использовать для погружения и извлечения из отбеливающих растворов стальные пинцеты или связывать изделия стальной проволокой, так как это может вызывать появление налета на отбеливаемом слитке или изделиях.

2.10.2 Шлифование и полирование изделий

Шлифование и полирование ювелирных изделий относится к отдельной группе методов обработки металлов резанием. Целью этих операций является придание готовым изделиям определенной чистоты поверхности и точности размеров.

Шлифование — обеспечивает, в основном, получение гладкой, но матовой поверхности.

Полирование — обеспечивает получение на гладкой (матовой) поверхности сильного металлического блеска (глянца).

Следует иметь в виду, что между операциями шлифования и полирования нельзя провести резкой границы, поскольку оба процесса преследуют близкие задачи и во многом сходны друг с другом [3].

Процесс шлифования дает возможность получить гладкую поверхность металла, соответствующую 7...9 классам чистоты. Изменения формы и геометрических размеров изделий при шлифовании, в отличие от опилования и других методов механической обработки металлов резанием, незначительны. Практически на шлифование ювелирных изделий предусматриваются очень малые припуски или не предусматриваются вообще. В

процессе шлифования обрабатываемые изделия прижимаются к вращающемуся шлифовальному кругу, остроугольные частицы которого снимают тонкий слой металла. Глубина резания зависит от твердости и вязкости обрабатываемого металла, а также от твердости, величины и материала зерен шлифовальных кругов.

Ювелирные изделия из драгоценных металлов шлифуют и полируют ручным, механическим, а также машинным способами.

При ручной обработке используются шлифовальные круги, абразивные насадки, абразивные ленты, напильники, наждачная бумага. Для шлифования плоских поверхностей применяются абразивные бруски прямоугольного сечения длиной 200...300 мм.

При механическом шлифовании используются бормашины со сменными шлифовальными насадками; шлифовально-полировальные станки со сменными абразивными дисками, а также различные типы шлифовально-полировальных машин.

Требования к обрабатываемым изделиям.

Ювелирные изделия, подлежащие шлифовально-полировальной обработке, не должны иметь царапин и глубоких рисок, поскольку вывести их полированием чрезвычайно сложно, а иногда практически невозможно. В связи с этим, изделия из драгоценных металлов и сплавов, не обладающих, как правило, высокой твердостью, во избежание дефектов от ударов рекомендуется транспортировать в специальной таре с индивидуальными ячейками.

При выборе удельного давления абразивного инструмента необходимо учитывать свойства обрабатываемого металла. Чем мягче металл, тем легче снять с него слой, но тем труднее достичь однородности поверхности. Полирование твердых металлов по сравнению с мягкими при одних и тех же условиях обработки (одинаковые исходная шероховатость, точность, подлежащий съему припуск и т.д.) ведут с большими удельными давлениями полировальника на обрабатываемую поверхность.

2.10.2.1 Ручное шлифование и полирование

Для операций ручного шлифования широкое распространение получили напильники, которые представляют собой стержнеобразные камни из карбида кремния (карборунда) длиной около 150 мм с разнообразными формами сечения: квадратной, круглой, полукруглой, треугольной, прямоугольной и т.п. Абразивные напильники имеют различную зернистость и для того, чтобы снимаемые металлические частицы не застревали в межзеренных углублениях, при работе их следует смачивать водой. При операциях ручного шлифования-полирования с помощью напильника перемещается инструмент (напильник), а деталь удерживается неподвижно. Рекомендуется менять направление шлифования, желательно перпендику-

лярно к предыдущему направлению, что дает возможность снимать следы предшествующей обработки.

В качестве более мягких природных абразивных материалов применяются пемза и сланец. Эти материалы особенно хорошо подходят для мокрого шлифования серебряных изделий. При помощи остро заточенных тонких стержней из сланца, называемых грифелями, можно обрабатывать труднодоступные места на поверхности изделий. Приемы работы напильниками из пемзы и сланца такие же, как и приемы работы напильником из карбида кремния.

Наиболее мягкими материалами, применяемыми при доводочном шлифовании, являются шлифовальные угли. Изготавливаются они в виде брусков квадратного сечения, однако их легко опилить до любого профиля. При работе их также необходимо смачивать водой.

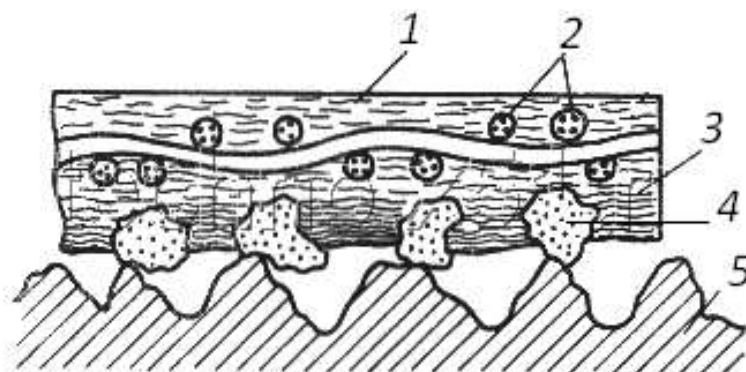
Шлифование наждачной бумагой (шкуркой) применяется для обработки труднодоступных мест. Этому способствует гибкость и небольшая толщина шкурок. Основой для абразивного материала служит плотная, жесткая и прочная бумага или полотно, а в качестве связывающего средства для наклеивания наждачных зерен применяются клеи и лаки. Тонкость наждачной шкурки определяется величиной зерен абразива. В зависимости от вида абразивных порошков, шкурки подразделяют на электро- и карбидокорундовые, стеклянные или кремниевые. Если наждачной шкуркой обрабатывают ровную поверхность, то ее укладывают на ровную и гладкую плиту и производят шлифование. При таком положении поверхность изделия будет ровной. Выпуклые поверхности изделия можно обработать шкуркой, наклеенной на тонкие деревянные рейки или обвернутой на напильник, а возможно и палец руки.

Ручное полирование является продолжением процесса шлифования. Выполняется оно полировальными палочками или полировальными деревянными брусками, которые покрываются полировальным веществом. Ровные плоскости достигают сверкающего блеска при помощи кожного полировального напильника, сходного по форме с наждачным напильником, одна сторона его обтянута мягкой кожей, на которую наносится полировальная паста.

2.10.2.2 Механическое шлифование и полирование

Механическое шлифование и полирование осуществляется на специальных шлифовально-полировальных станках или с помощью бормашины эластичными кругами и лентами, на поверхность которых наносят полировальные вещества. Полирование давлением осуществляется жестким полировальником, в результате чего микронеровности поверхности материалов подвергаются пластическому деформированию.

Для обработки крупных ювелирных изделий со сложным профилем применяют шлифование абразивной лентой (рис. 2.63). Рабочая поверхность ленты, на которую нанесена полировальная паста, характеризуется размерами абразивных зерен пасты и их количеством на единице поверхности ленты.



1 – лента-основа; 2 – пряжа нити; 3 – связка; 4 – абразивные зерна;
5 – обрабатываемая поверхность

Рисунок 2.63 – Схема процесса полирования абразивной лентой

Механическое шлифование - полирование абразивными кругами и дисками выполняют на специальных полировальных станках. Примером таких станков для финишной обработки ювелирных изделий являются станки с горизонтальной осью вращения шпинделя «СІМО Angel» производства фирмы СІМО, Италия (рис. 2.64) [21].

Полировальные станки «СІМО Angel» обладают следующими особенностями:

- реализована полная рекуперация драгоценных металлов, благодаря специальной системе сбора отходов, предусматривающей 6 ступеней воздушно-водяной фильтрации;
- простота в обслуживании;
- незначительный уровень шума;
- возможность регулировки скорости двигателя станка в диапазоне от 600 до 3 000 об/мин с целью подбора оптимальной скорости в соответствии со сложностью обрабатываемого изделия, с учетом твердости абразивного круга (щетке), его диаметра и типа применяемой пасты;
- малая реверсивная скорость, что обеспечивает быстроту и надежность установки и снятия абразивных кругов с обеспечением их перпендикулярности;
- наличие двустороннего вала обеспечивает одновременное использование 2-х или 4-х различных типов кругов (щеток), что позволяет сократить продолжительность обработки.



Рисунок 2.64 – Общий вид шлифовально-полировального станка «СІМО Angel»

Технические характеристики станков серии «СІМО Angel» приведены в таблице 2.26.

Таблица 2.26 – Технические характеристики шлифовально-полировальных станков серии «СІМО Angel»

Модель	Потребляемая мощность, кВт	Напряжение питания, В	Рабочая скорость, об/мин	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Angel 85	2,5	220, однофазное	600...3600	1050x800x2200	220
Angel 85-2	3,5		600...3600	1900x850x2250	410

Полирование на станках, подобных «СІМО Angel», осуществляется с помощью полировальных паст или суспензий с использованием специального инструмента – дисков, изготовленных из специальных составов резины, позволяющих производить обработку при любой частоте вращения с использованием абразивных частиц различной твердости и величины.

Абразивные материалы для различной степени обработки ювелирных изделий имеют различную окраску (чтобы не путать): начиная с чер-

ного цвета – для абразивов грубой обработки и, заканчивая желтым цветом – для абразивов супертонкой полировки (табл. 2.27). Также применяют полировальные круги из войлока или круглые щетки. Частота вращения круга при полировании должна быть в пределах 2000...2800 об/мин.

Для получения зеркального блеска в конце процесса полирования ювелирных изделий используют наборной полировальный круг, состоящий из многочисленных тканевых кружков или мягких кожаных шайб. Для окончательной доводки поверхности ювелирных изделий применяют круги из ниток – пуховки.

Таблица 2.27 – Характеристика абразивных материалов, применяемых для финишной обработки ювелирных изделий

Материал абразива	Назначение абразива	Характеристика инструмента	Цвет абразива
на основе SiO_2	для обдирки	жесткая структура резины, крупные абразивные частицы	черный
на основе Al_2O_3	для грубой шлифовки	твердая структура резины, крупные абразивные частицы	коричневый
на основе SiC	для грубой средней полировки	среднетвердая структура резины, средние по величине абразивные частицы	зеленый
на основе SiC	для тонкой шлифовки	более мягкая структура резины, средние по величине абразивные частицы	синий
на основе SiC	для тонкой полировки	среднетвердая структура резины, мелкие абразивные частицы	красный
на основе Al_2O_3	для очень тонкой полировки	мягкая структура резины, очень мелкие абразивные частицы	белый
на основе SiC	для супертонкой полировки	очень мягкая структура резины, очень мелкие абразивные частицы	желтый

Из материалов, приведенных в таблице 2.27, изготавливают шлифовально-полировальные инструменты: диски и наконечники (рис. 2.65, 2.66).

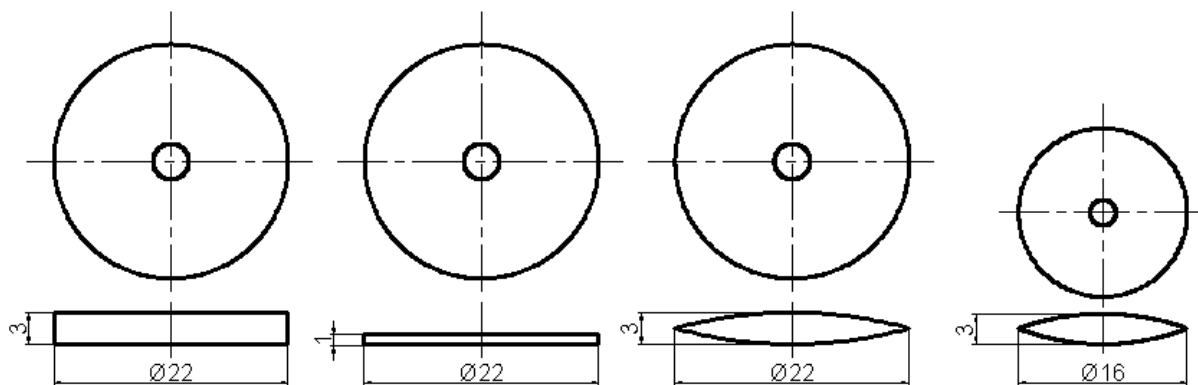
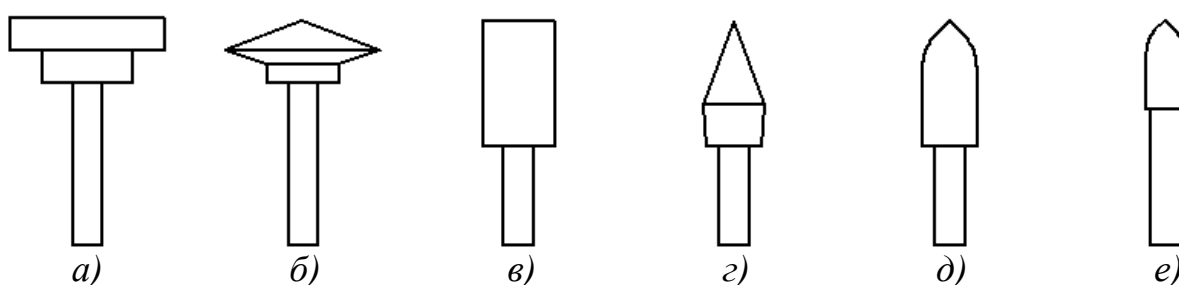


Рисунок 2.65 – Шлифовально-полировальные диски (прямоугольной и конусообразной формы) для финишной обработки ювелирных изделий



а – диск диаметром 11мм; б – диск с острой кромкой диаметром 11мм; в – цилиндр; г – конус; д – пуля большая; е – пуля малая

Рисунок 2.66 – Полировальные наконечники для финишной обработки ювелирных изделий

Для шлифовально-полировальных станков для финишной обработки изделий применяют следующие виды расходных материалов:

- муслиновые круги (пропитанные составом, скрепляющим волокна ткани, что увеличивает износостойкость кругов; используются с полировальными пастами на начальных стадиях полировки);
- фланелевые круги (изготовлены из очень мягкой ткани, что делает их идеальными для окончательной доводки и полировки изделий);
- нитяные щетки (предназначены для заключительных операций финишной обработки ювелирных изделий; как правило, используются с мелкозернистыми полировальными пастами; волокна ткани надежно крепятся в деревянных, пластиковых или металлических дисках);
- волосяные щетки (предназначены для заключительных операций финишной обработки ювелирных изделий; щетина надежно крепится в диске, изготовленном из твердой породы дерева);
- латунные и металлические щетки (предназначены для чистки и шлифовки цветных металлов);
- щетки полировальные волокнистые (изготовлены из свободно переплетенных капроновых волокон с включениями мелкого абразива; пред-

назначены для легкой чистки и полировки изделий из цветных металлов; отличаются большой эффективностью и долговечностью);

- очень мягкие войлочные круги (предназначены для финишной обработки небольших и несложных поверхностей из цветных металлов; применяются с использованием полировальных паст);

- войлочные круги с острой кромкой, войлочные конусы, войлочные наконечники различной формы (предназначены для финишной обработки сложных поверхностей изделий из цветных металлов; также применяются с использованием полировальных и шлифовальных паст);

- войлочные насадки (представляют собой комбинацию войлочных полировальных кругов и конусов; могут использоваться для полировки как внутренних, так и внешних поверхностей изделий; применяются с использованием полировальных и шлифовальных паст).

2.10.2.3 Полировальные пасты

В настоящее время при доводочных и полировальных работах применяют алмазные пасты, которые обеспечивают высокие параметры шероховатости обрабатываемой поверхности.

Для приготовления полировальных и доводочных паст используют различные композиции, в состав которых входят олеиновая и стеариновая кислоты, парафин, церезин, техническое и натуральное сало, канифоль, масла костяное и вазелиновое, скипидар и т. д. Связку для паст выбирают в зависимости от ее назначения: она состоит из активных добавок (олеиновой и стеариновой кислот) и жировой основы. Олеиновая и стеариновая кислоты химически активизируют процесс полирования, повышают его производительность. Для этого же добавляют в полировальные пасты для драгоценных металлов поверхностно-активные вещества, а в последнее время и специальные комплексообразующие вещества, в частности сложные органические соединения, содержащие серу. Подобные добавки ускоряют процесс полирования и заметно улучшают шероховатость поверхности.

В настоящее время широкое распространение получили полировальные пасты на основе оксида хрома (табл. 2.28).

Пасту на основе оксида хрома готовят следующим образом. В фарфоровой или эмалированной металлической посуде расплавляют 15 ч. (по массе) стеарина и 12 ч. парафина. Когда расплавленные жиры разогреваются, к ним при непрерывном помешивании добавляют 73 ч. предварительно просеянного и высушенного оксида хрома. Смесь тщательно перемешивают и греют до получения достаточно жидкой массы, которую разливают в формы. После остывания пасту вынимают из форм и хранят, завернутой в бумагу.

Таблица 2.28 - Составы паст на основе оксида хрома для полирования изделий из драгоценных металлов

Компонент пасты	Массовая доля компонента, мас. %, при обработке		
	грубой	средней	тонкой
Состав 1			
Оксид хрома	81	76	74
Стеарин	10	10	10
Расщепленный жир	5	10	10
Керосин	2	2	2
Силикагель	2	2	1,8
Олеиновая кислота	-	-	2
Сода	-	-	0,2
Состав 2			
Оксид хрома	78	72	49
Стеарин	10,7	14	18
Олеиновая кислота	1,3	-	25
Техническое сало	8	-	-
Скипидар	2	-	-
Петролатум окисленный	-	14	-
Парафин	-	-	8

Существуют и другие рецептуры паст на основе оксида хрома. Например, паста, состоящая из 73 ч. оксида хрома, 23 ч. стеариновой кислоты и 4 ч. олеиновой кислоты.

В ювелирной промышленности широко применяют также пасты на основе крокуса (оксида железа). Для изготовления этой пасты в фарфоровой или эмалированной металлической посуде расплавляют 18,5 ч. стеариновой кислоты, 2,0 ч. церезина, 0,5 ч. олеиновой кислоты. В расплав при помешивании вводят 70 ч. крокуса. После тщательного перемешивания в расплавленную массу добавляют 9 ч. парафина, все вновь тщательно перемешивают и разливают в формы. Остывшую пасту вынимают из форм и укладывают в тару.

Наиболее распространенными импортными марками полировальных паст для обработки ювелирных изделий являются: Menzerna, Dialux, Bobbing, Tripoli [4].

2.10.2.4 Машинное полирование

В настоящее время для отделки ювелирных изделий в условиях серийного производства используются специальные шлифовально-полировальные машины – галтовочные установки.

Галтовка – это финишная технологическая операция обработки ювелирных изделий с целью придания поверхности изделий высоких отражательных свойств, т.е. блеска.

Галтовка производится в галтовочных установках (барабанах). Принцип действия этих машин заключается в обработке поверхности и кромок изделий в результате абразивного трения между средой и обрабатываемым изделием. Абразивная среда снимает часть материала поверхности изделий, тем самым выравнивая и полируя его.

В настоящее время широкое распространение получили следующие типы машин для финишной отделочной обработки ювелирных изделий:

- одноцилиндровые (роторные) барабанные галтовочные установки;
- центробежные галтовочные установки;
- вибрационные галтовочные установки;
- магнитные галтовочные установки.

В таблице 2.29 приведены характеристики основных типов этих установок [11].

Таблица 2.29 – Типы и характеристики шлифовально-полировальных машин

Тип машины	Шлифовальная среда	Полировальная среда	Качество обрабатываемой поверхности	Обрабатываемые изделия
Одноцилиндровый (роторный) барабан	керамика, пластик	дерево, скорлупа грецкого ореха, зерно, стальные шарики	царапины, грязная поверхность	все виды ювелирных изделий (без камней)
Роторная (центробежная) установка	керамика, пластик	скорлупа грецкого ореха, пластик, фарфор	чистая поверхность, высококачественная полированная поверхность	все виды ювелирных изделий (с камнями)
Вибрационная установка	керамика, пластик	дерево, скорлупа грецкого ореха, зерно, стальные шарики	царапины, низкий сглаживающий эффект	цепочки
Магнитогалтовка	-	стальной наполнитель различной формы	царапины, некачественная полировка	филигранные изделия, изделия с камнями

Одноцилиндровые барабанные галтовочные установки.

Барабанные галтовочные установки предназначены для финишной отделки ювелирных изделий во вращающемся барабане с шестигранной формой стенок. Работают такие установки как в «мокром», так и «сухом» режимах со всеми видами галтовочных тел.

Примером простейшей одноцилиндровой барабанной галтовки является установка КТ-3010 А (Китай), приведенная на рисунке 2.67 [33].



Рисунок 2.67 – Общий вид одноцилиндровой барабанной галтовки КТ-3010 А

Технические характеристики галтовочного барабана КТ-3010 А:

- количество скоростей вращения барабана – 4;
- тип вращения – реверсивный;
- максимальное время таймера – 60 мин;
- максимальная масса загружаемых изделий – 450 г;
- объем барабана – 9 л;
- размеры барабана (диаметр х длина) – 240 х 330 мм;
- габаритные размеры установки (Д х В х Ш) – 370 х 380 х 450 мм;
- масса установки – 25 кг.
- загрузка барабана: металлический наполнитель – 12 кг; пластиковый наполнитель – 4 кг; фарфоровый наполнитель – 9 кг; ореховая скорлупа – 3 кг.

Постоянное автоматическое изменение направления вращения барабана (влево и вправо) дополнительно обеспечивает оптимальный процесс равномерной полировки поверхности изделий.

Центробежные галтовочные установки.

В галтовочных установках роторного типа, как правило, проводят центробежную галтовку по принципу тороидального движения – обрабатываемые изделия совместно со специально подобранными галтовочными телами помещаются в рабочий барабан и за счёт вращения активаторной тарелки подвергаются ускорению. Под воздействием создаваемой силы инерции и центробежной силы смесь из изделий и абразивов перемещается вверх по стенкам барабана и под воздействием силы тяжести

смесь возвращается на вращающуюся тарелку, где опять подвергается ускорению.

Примером центробежных галтовочных установок являются галтовочные барабаны Dreher (Германия) [34]. Общий вид одномодульной центробежной галтовочной установки «Dreher DT-S13» представлен на рисунке 2.68.



Рисунок 2.68 – Общий вид центробежной галтовочной «Dreher DT-S13»

Конструктивные и функциональные характеристики центробежных галтовочных установок Dreher (рис. 2.69):

- рабочий барабан имеет форму цилиндра;
- конструктивно установки состоят из одного или нескольких барабанов (модулей);
- в барабанах дно (диск) приводится во вращательное движение, а сами барабаны в процессе работы остаются неподвижными;
- благодаря специально рассчитанной форме стенок барабана и скорости вращения диска, наполнитель и изделия движутся по сложной тороидальной траектории, т.е. происходит наложение вращательного и центробежного движения;
- барабаны оснащены системой охлаждения наполнителя;
- реализована возможность выставления зазора между вращающимся дном (диском) и неподвижными стенками (барабаном) – этот зазор обеспечивает образование воздушной подушки, которая не дает наполнителю просыпаться в нижний фланец (рис. 2.69).

В таких установках изделия совместно с галтовочным наполнителем обрабатываются в течение нескольких часов.

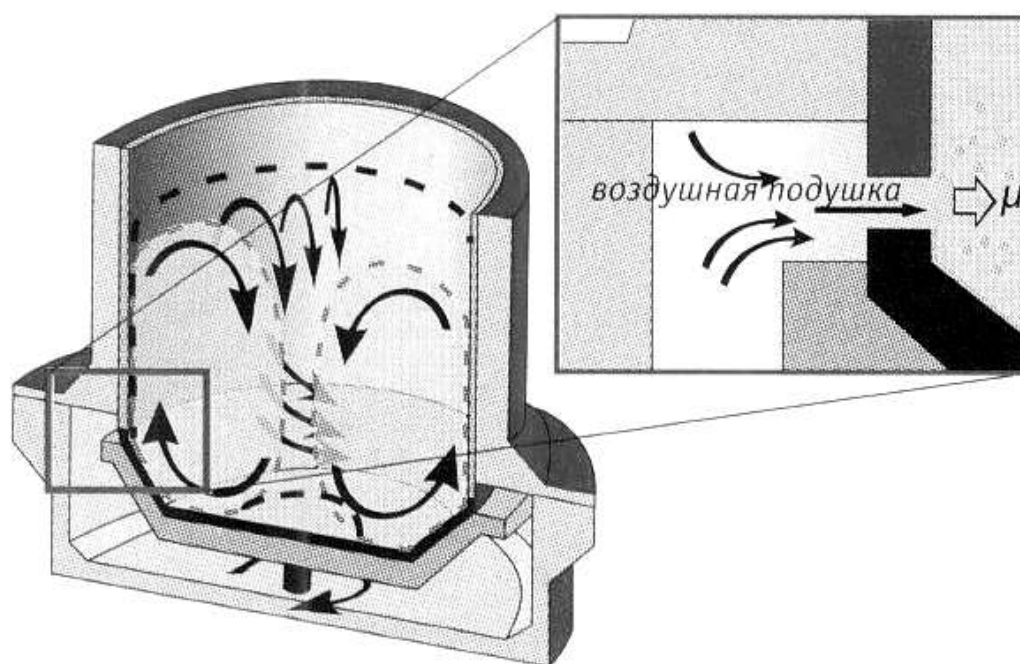


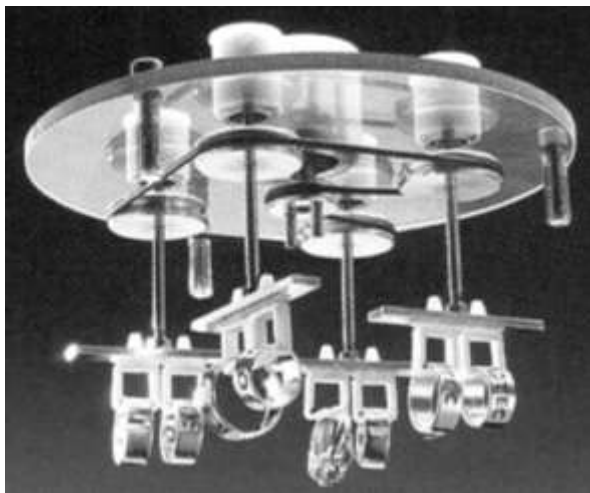
Рисунок 2.69 – Схема работы центробежной галтовочной установки «Dreher DT-S13»

Технические характеристики центробежной галтовочной установки «Dreher DT-S13» приведены в таблице 2.30

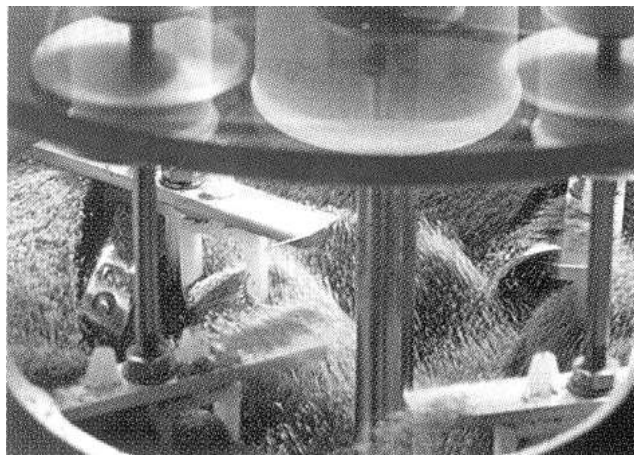
Таблица 2.30 – Технические характеристики центробежной галтовочной установки «Dreher DT-S13»

Наименование характеристики	Значение характеристики	
	для «сухой» галтовки (1х13)	для «мокрой» галтовки (1х13)
Количество модулей x емкость барабана, л	1х13	1х13
	2х13	2х13
	3х13	3х13
Габариты установки, мм	1300х540х900	1300х570х900
Электропитание	0,8 кВт, 220 В	0,75 кВт, 220 В
Масса установки, кг	110	125

При обработке тяжелых ювелирных изделий (более 8г), обрабатываемых в более компактных центробежных галтовках применяют специальные подвесные устройства – изделия закрепляются в специальных зажимах (рис. 2.70) и, помимо кругового движения в сторону вращения наполнителя, выполняют вращение вокруг своей оси, ускоряя процесс обработки.



а)



б)

а – общий вид подвесного устройства; б – подвесное устройство в работе
Рисунок 2.70 – Подвесное устройство для обработки тяжелых изделий в галтовках центробежного типа

Вибрационные галтовочные установки.

При виброгалтовке создаются условия для относительного движения обрабатываемых изделий и галтовочных тел за счёт хаотического перемешивания галтовочных тел по всему рабочему объёму установки под действием вибрации. Виброгалтовка состоит из барабана, который установлен на пружинистом основании, и мотора с эксцентрик. Действие виброгалтовок основано на использовании системы груза-эксцентрика, которая изначально настроена на среднюю амплитуду и интенсивность колебаний. Путём изменения положения груза-эксцентрика можно обеспечить плавную регулировку амплитуды и интенсивности колебаний в зависимости от вида обрабатываемых изделий и типа используемых галтовочных тел. Правильный режим вибрации приводит к тому, что изделия, галтовочные тела и жидкая полировальная среда перемещаются по тороидальной поверхности.

Виброгалтовки применяются для широкого ряда операций по финишной обработке ювелирных изделий, включая: шлифование заготовок, удаление облоя, скругление острых кромок, полировку. Отличительной особенностью виброгалтовок является то, что в них можно обрабатывать изделия как малого, так и крупного размера и массы.

Примером вибрационных галтовочных установок являются виброгалтовки Raytech (США) [35]. Общий вид виброгалтовок Raytech различной производительности представлен на рисунке 2.71.



а)



б)

а – модель Raytech TV-5; б - модель Raytech AV-25SS

Рисунок 2.71 - Общий вид виброгалтовок Raytech

Технические характеристики виброгалтовки «Raytech TV-5»:

- наполнители – орех, керамика, пластик;
- объем рабочей емкости – 1,5 л;
- напряжение питания – 220 В;
- максимальная загрузка наполнителем – 3 кг;
- возможность обработки за одну загрузку 50...60 г изделий при условии, что масса одного изделия не превышает 10 г.

Технические характеристики виброгалтовки «Raytech AV-25SS»:

- наполнители – орех, керамика, пластик;
- объем рабочей емкости – 7,5 л;
- напряжение питания – 220 В;
- максимальная загрузка наполнителем – 22 кг;
- возможность обработки за одну загрузку до 450 г изделий при условии, что масса одного изделия не превышает 10 г;
- наличие сливного порта для быстрого извлечения наполнителя и изделий из барабана.

Вибро-центробежные галтовки.

Такие установки оснащены эксцентрическим двигателем. Под воздействием вибрационных и центробежных сил рабочий наполнитель в барабане движется по циркулярной, геликоидальной и колебательной схемам – таким образом, внутри рабочего барабана нет никаких движущихся частей, подвергающихся износу. Конструкция установки обеспечивает возможность применения любого наполнителя: металлического, керамического, пластикового, что увеличивает диапазон обрабатываемых изделий.

Примером вибро-центробежных галтовочных установок являются галтовки ЕКО, производства фирмы Metalfinishing (Италия) [36]. Общий

вид вибро-центробежной галтовки «ЕКО 5-R» представлен на рисунке 2.72.



Рисунок 2.72 – Общий вид вибро-центробежной галтовки «ЕКО 5-R»

Технические характеристики вибро-центробежных галтовочных установок ЕКО приведены в таблице 2.31.

Таблица 2.31 – Технические характеристики вибро-центробежных галтовочных установок ЕКО

Наименование характеристики	Значение характеристики	
	ЕКО 5-R	ЕКО 13-R
Рабочий объем, л	5	13
Максимальная частота вибрации, с ⁻¹	50	
Габариты установки, мм	570x400x400	900x440x540
Электропитание	0,4 кВт, 220 В	0,23 кВт, 220 В

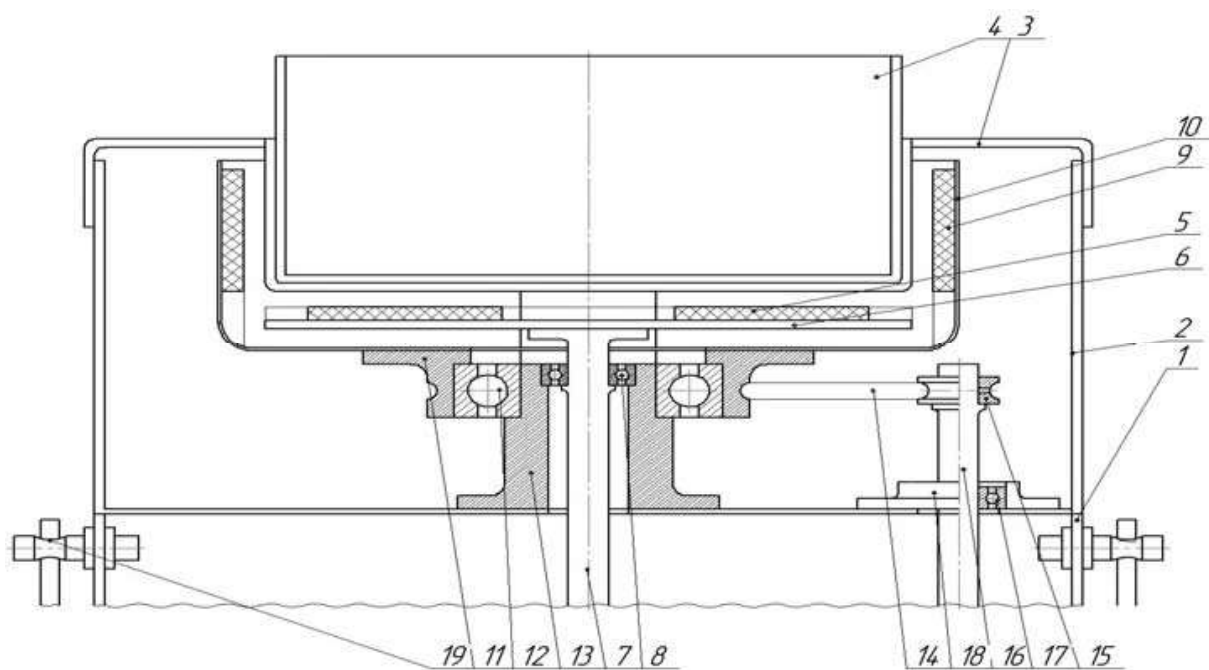
Загрузка обрабатываемых изделий в ЕКО 5-R – 700...800 г при массе одного изделия не более 30 г; загрузка металлического наполнителя – 18 кг, керамического или пластикового – 5 кг.

Магнитогалтовочные установки.

Магнитная галтовка – также является разновидностью суперфинишной обработки поверхности изделий резанием. Режущим инструментом является ферромагнитный галтовочный наполнитель (иглы). Обработка происходит в неподвижном рабочем объеме, окруженном постоянными магнитами, в который загружены наполнитель, представляющий короткие обоюдоострые иглы, обрабатываемые изделия и полировальная жидкая среда. Полирование изделий происходит за счет соударения перемещаемого магнитным полем наполнителя и обрабатываемых изделий.

Магнитогалтовка представляет собой диск, на который установлен рабочий барабан, изготовленный из множества магнитов. При постоянно меняющейся полярности магнитов происходит хаотичное движение металлического наполнителя в полировальной жидкой среде. Магнитное поле в качестве средства передачи обрабатывающего усилия позволяет управлять потоком наполнителя, который движется в соответствии с конфигурацией магнитного поля, индуцируемого постоянными магнитами.

Схема установки для магнитной галтовки представлена на рисунке 2.73 [37].



1 – основной корпус; 2 – верхняя часть корпуса; 3 – рабочий объем;
4 – рабочий контейнер; 5 – основная группа постоянных магнитов; 6 – подвижный диск; 7 – основной вал; 8 – подшипник; 9 – постоянные магниты; 10 – подвижный борт; 11 – втулка №1; 12 – основной подшипник; 13 – втулка №2; 14 – ремень; 15 – блок; 16 – вспомогательный вал; 17 – подшипник; 18 – втулка №3; 19 – поворотный механизм

Рисунок 2.73 – Схема установки для магнитной галтовки

Примером установок для магнитной галтовки ювелирных изделий являются магнитогалтовки Robin (Китай) [36]. Общий вид магнитогалтовки Robin представлен на рисунке 2.74.

Технические характеристики магнитогалтовки Robin (с диаметром барабана 190 мм):

- напряжение питания – 220 В;
- габаритные размеры рабочего барабана – Ø195 x 120 мм;
- габаритные размеры установки – 320 x 260 x 260 мм;
- потребляемая мощность – 0,12 кВт;
- масса установки – 3 кг;

- наполнители – орех, керамика, пластик;
- объем рабочей емкости – 7,5 л;
- максимальная загрузка изделиями – не более 120 г;
- максимальная загрузка магнитным наполнителем – не более 150 г;
- основной полировочный материал – стальные иглы диаметром 0,4 мм и длиной 4...10 мм, также возможно использование стальных шариков.

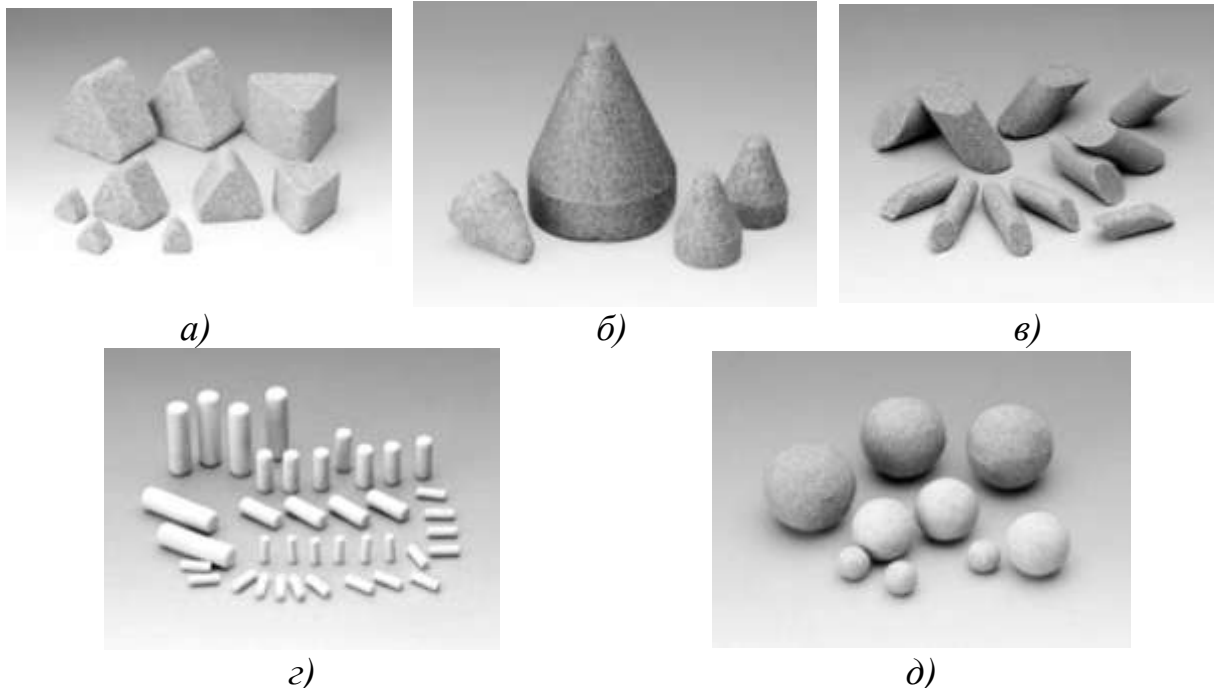


*Рисунок 2.74 – Общий вид магнитогалтовки Robin
(с диаметром барабана 190 мм)*

Наполнители для галтовочных установок.

1. Керамические наполнители – используются при начальных стадиях финишной обработки изделий. Это тяжелые частицы различных форм и размеров, обладающие сильными абразивными свойствами. Во время галтовочной обработки отработанные частицы постепенно откалываются, обновляя абразивный слой. Это значительно сокращает время обработки и способствует быстрому удалению облоя и окалины после литья, устранению крупных царапин и дефектных неровностей поверхности обрабатываемых изделий. Применяются с обязательным использованием жидкой среды или паст. Существует большое разнообразие форм и размеров абразивных частиц (галтовочных тел), основными и наиболее часто используемыми являются: призмы трехгранные; конусы; скошенные цилиндры; прямые цилиндры; шарики (рис. 2.75).

2. Пластиковые наполнители – используются для подготовки изделий к полировке в галтовках вибрационного и центробежного типа. Применяются с обязательным использованием жидкой среды или специальных паст. Удаляют очень незначительный слой металла. Как правило, цвет наполнителя отвечает определенной степени его абразивности – разные производители абразивных наполнителей стараются не нарушать это правило. Форма галтовочных тел пластикового наполнителя аналогична керамическому.



а – призмы трехгранные; б – конусы; в – скошенные цилиндры; г – прямые цилиндры; д – шарики

Рисунок 2.75 – Форма керамических и пластиковых галтовочных тел для финишной обработки ювелирных изделий в галтовочных установках

3. Металлические наполнители – применяются для финишной полировки ювелирных изделий в галтовках вибрационного и магнитного типа. Они не содержат абразивных частиц, поэтому изделия необходимо предварительно обработать абразивными наполнителями, чтобы удалить царапины и неровности с их поверхности перед полировкой. Применяются с обязательным использованием специальных жидкостей. Следует учитывать, что в зависимости от сложности поверхности изделий и их величины важно правильно подобрать форму металлического наполнителя. Для галтовок вибрационного типа в качестве галтовочных тел применяются наполнители из нержавеющей стали следующей формы: скошенный и прямой цилиндры ($d=1$ мм, $L=10$ мм); шарик ($d=1...4$ мм). Для магнитогалтовок применяются магнитные шарики и магнитоиголки.

4. Органические наполнители – самые легкие и тонкие наполнители, применяются на заключительных стадиях финишной обработки ювелирных изделий. Применяются такие материалы как: скорлупа грецкого ореха, зерна маиса, деревянные частицы. В зависимости от сложности поверхности изделий, способов и стадий галтовочной обработки, используемые наполнители также могут быть различной формы и размеров. При «сухом» процессе органические наполнители применяются с обязательным использованием специальных шлифующих или полирующих паст. Ореховый наполнитель применяется с размером частиц в диапазоне от $0,2...0,4$ мм до $3...5$ мм; зерна маиса – от $1...1,5$ до $3,5...4,5$ мм.

Все керамические, пластиковые и металлические наполнители применяются с обязательным использованием жидких сред. Назначение галтовочных жидких сред:

- поддержка абразивной способности наполнителя, смыв отработанных частиц и открытие свежих абразивных слоев;
- создание «смазывающего» слоя между изделием и наполнителем, исключая повреждения поверхности изделий;
- очистка смеси изделий и наполнителя от нежелательных химических примесей, что особенно важно при использовании наполнителя, содержащего оксид алюминия, который вызывает окисление металла; жидкость для стальных наполнителей предотвращает появление ржавчины.

В процессе «сухой» финишной обработки применяются специальные пасты, которые, помимо абразивных наполнителей, также содержат в своем составе шлифовальный или полировальный абразив, ускоряющий процесс финишной обработки ювелирных изделий.

2.10.2.5 Электрохимическое полирование

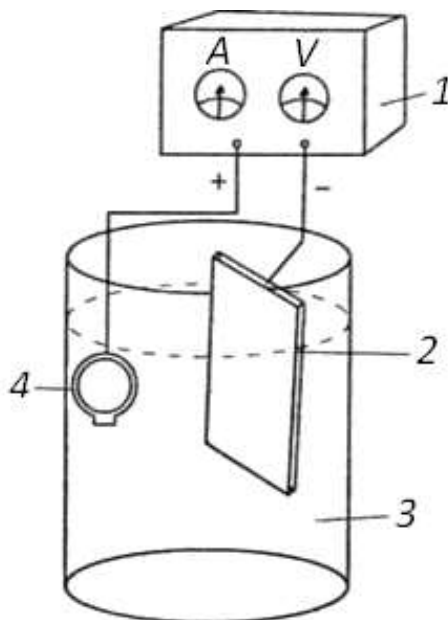
Электрохимическое полирование – это процесс полировки изделий под действием электрического тока в ванне с электролитом, где происходит химическая реакция между электролитом и обрабатываемыми изделиями.

Особенностью электрохимической полировки является сглаживание поверхности металла за счет интенсивного растворения мельчайших выступов, шероховатостей и гребешков, образовавшихся в ходе предшествующей механической обработки. При этом в микроуглублениях, канавках и впадинах сохраняется пассивность и малая растворимость металла. Поверхность изделий после электрохимической полировки приобретает яркий блеск, однако сравнительно глубокие риски при этом не сглаживаются. Поэтому с целью повышения чистоты обработки на один-два класса электрохимическое полирование следует применять для деталей с чистой отделки не менее 8...10-го классов. У поверхности с более грубой обработкой при той же продолжительности электрохимической полировки наблюдается лишь появление блеска. Для получения не только блестящей, но и качественной полированной поверхности, требуется проведение качественной предварительной механической обработки изделий, например, шлифовки [11].

Для того чтобы поверхность полируемых изделий при прохождении электрического тока находилась в активном состоянии на одних участках и одновременно в пассивном состоянии на других, необходимо, прежде всего, подбирать подходящий электролит. К электролитам для электрохимической полировки предъявляются следующие требования:

- электролит должен обеспечить образование на анодах (полируемых изделиях) вязкой пленки с большим электрическим сопротивлением; эта пленка должна задерживаться в углублениях и способствовать интенсивному растворению выступов;
- электролит должен быть стабильным по своим свойствам во времени (как в процессе прохождения тока, так и в перерывах);
- электролит не должен оказывать агрессивное действие на полируемый металл (сплав) при отсутствии тока;
- электролит должен иметь широкий рабочий интервал (отношение максимальной плотности тока к минимальной, при котором поверхность получается полированной);
- плотность тока и напряжение не должны быть чрезмерно высокими.

Схема установки для электрохимической полировки ювелирных изделий приведена на рисунке 2.76.



*1 – выпрямитель; 2 – титановая пластина; 3 – электролит;
4 – ювелирное изделие*

Рисунок 2.76 – Схема установки для электрохимической полировки ювелирных изделий

Промышленные установки для электрохимической полировки ювелирных изделий состоят из следующих конструктивных элементов:

- ванны емкостью от 2 до 8 л, изготовленной из полипропилена или винипласта;
- катода (электрода с зарядом «-»), изготовленного из титана, графита или нержавеющей стали; при этом следует учитывать, что размер катода должен быть в 2 раза больше суммарной поверхности обрабатываемых изделий;

- выпрямителя с плавным регулированием напряжения в интервале 6...20 В (в некоторых случаях до 40 В) в зависимости от загрузки ванны, работающего в импульсно-постоянном и переменном режимах;

- температурного нагревателя, если процесс полировки проводится при повышенной температуре.

В процессе электрохимической полировки обрабатываемое ювелирное изделие будет являться анодом, т.е. электродом, соединенным с положительным полюсом источника тока.

Для питания ванн электрохимической полировки необходим большой ток при относительно малом напряжении. Плотность тока при электрохимической полировке представляет собой отношение силы тока к площади электрода, находящегося в электролите, и выражается в А/дм² или А/см².

Составы электролитов и режимы электрохимической полировки изделий из сплавов золота ЗлСрМ приведены в таблице 2.32, а для изделий из серебра и его сплавов – в таблице 2.33.

Таблица 2.32 – Составы электролитов и режимы электрохимической полировки изделий из сплавов золота ЗлСрМ

Компоненты электролита	Концентрация, г/л	Время об-работки, мин	Температура электролита, °С	Плотность тока, А/дм ²	Рекомендации
Состав 1					
Калий родани-стый	400...500	6...10 с, контроль визуальный	14...20	20...40, (5...6 В)	Катод - тита-новый, про-цесс ведется в импульсном режиме
Натрий углекис-лый	50...60				
Глицерин	50				
Моноэтаноламин	150				
Состав 2					
Гидроокись натрия	15	0,5...3,0	70...80	3...5	Катод - тита-новый или из нержавеющей стали
Натрий углекис-лый	30				
Тринатрийфосфат	35				

Таблица 2.33 – Составы электролитов и режимы электрохимической полировки изделий из серебра и сплавов на его основе

Компоненты электролита	Концентрация, г/л	Время обработки, мин	Температура электролита, °С	Плотность тока, А/дм ²	Рекомендации
1	2	3	4	5	6
Состав 1					
Серебро цианистое	35	2,5	18...25	3...5	Катод - нержавеющая сталь
Калий цианистый	20				

Продолжение таблицы 2.33

1	2	3	4	5	6
Состав 2					
Калий цианистый	65	5...15	15...35	0,3...1,0	Катод - не- ржавеющая сталь
Натрий углекис- лый	12				
Состав 3					
Калий родани- стый	400...500	1...2	15...20	20...40	Катод - тита- новый или из нержавеющей стали
Глицерин	100				
Спирт этиловый	50				

2.10.3 Очистка литья ультразвуком

Ультразвуковая очистка – это современная и эффективная технология, позволяющая решать целый ряд технологических задач по очистке и обезжириванию металлических и полимерных изделий, избегая при этом применения высокотоксичных растворителей.

В ювелирном производстве ультразвуковая очистка применяется для удаления различных технологических загрязнений из труднодоступных полостей, углублений и каналов небольших размеров на поверхности ювелирных изделий: жировых и органических загрязнений, остатков флюсов, шлифовальных, полировочных и доводочных паст и т.п. Очистка ультразвуком также весьма эффективна при удалении загрязнений в местах закрепки на изделиях ювелирных камней, а также очистки самих камней.

Ультразвуковая очистка поверхности ювелирных изделий достигается за счет применения эффекта кавитации, вызванного ультразвуковыми колебаниями в жидкости. Кавитация – это процесс образования и разрушения миллионов мельчайших пузырьков в жидкости (рис. 2.77).

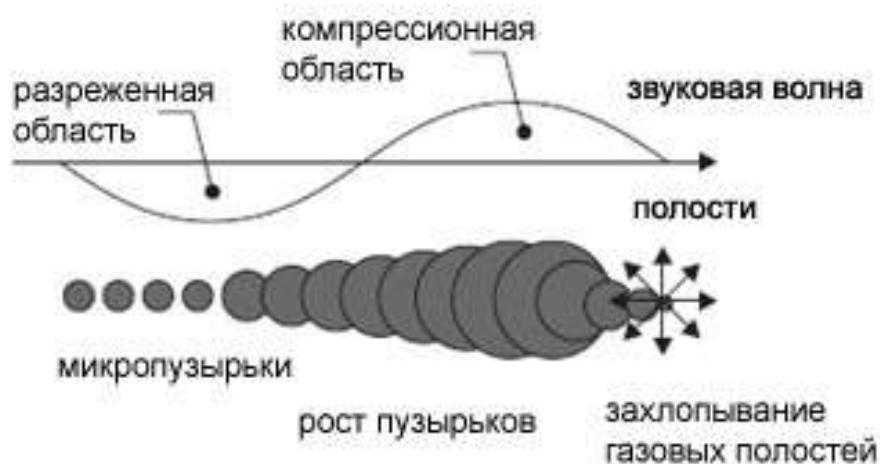


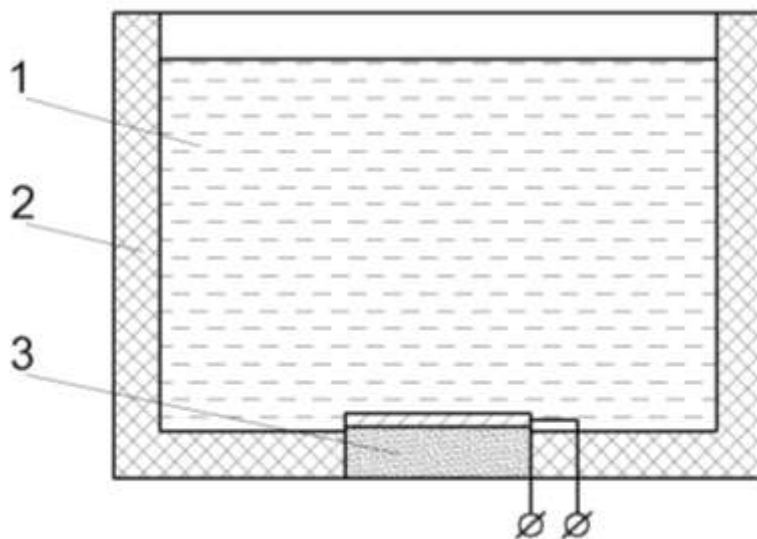
Рисунок 2.77 – Схема процесса кавитации в ультразвуковой ванне

Эффект кавитации в жидкости реализуется следующим образом: ультразвуковые волны, проходящие через очистительную жидкость, создают микропузырьки с паром и газом в разреженной области волны, эти пузырьки нагнетаются, расширяются, соединяются друг с другом и разрываются в компрессионной части волны, создавая микроударные волны. При захлопывании пузырьков в фазе высокого давления высвобождается значительная энергия, за счет которой происходит очищающее воздействие на поверхности изделий.

Оборудование, применяемое при ультразвуковой очистке, состоит из следующих основных частей:

- ванны с растворителем для основной очистки;
- источника ультразвука с устройством для подвода ультразвуковых колебаний в рабочую зону ванны;
- ванны или душевого устройства для споласкивания изделий, прошедших ультразвуковую очистку.

Принципиальная схема ультразвуковой очистки изделий показана на рисунке 2.78.



*1 – очищающий раствор; 2 – ванна; 3 – излучатель ультразвуковых волн
Рисунок 2.78– Принципиальная схема ультразвуковой очистки*

Ультразвуковые колебания создаются генераторами ультразвуковых колебаний частотой 40...80 кГц и вводятся в объем ванны при помощи пьезокерамических излучателей.

При ультразвуковой очистке применяют водные растворы моющих средств (растворители), содержащие поверхностно-активные вещества (ПАВ). При высоких очищающих свойствах, ПАВы являются биоразлагаемыми, пожаро- и взрывобезопасными веществами. Моющие растворы подбирают таким образом, чтобы они взаимодействовали с поверхностным загрязнителем и были нейтральны к очищаемым изделиям.

Длительность ультразвуковой очистки зависит от характера загряз-

нений, природы моющего раствора, мощности и частоты подводимых колебаний, температуры моющего раствора и ряда других факторов. На практике длительность процесса очистки колеблется от 10...15 секунд до нескольких минут.

Изделия, подвергаемые ультразвуковой очистке, навешиваются на специальные крючки и погружаются вглубь моющего раствора в ультразвуковой ванне.

Рассмотрим основные типы оборудования для очистки ювелирных изделий ультразвуком на примере [38].

Стандартные ультразвуковые мойки с механическим управлением.

Общий вид ультразвуковой мойки с механическим управлением представлен на рисунке 2.79. Рабочая емкость и корпус мойки выполнены из нержавеющей стали, мойка оборудована сливным вентилем, крышкой и ручками для переноса. Очищаемые изделия размещаются в корзине с размером ячейки 7 x 7 мм.



Рисунок 2.79 – Общий вид ультразвуковой мойки с механическим управлением

Панель управления мойки с механическим управлением состоит из следующих элементов:

- выключателя питания;
- таймера;
- регулятора температуры;

- индикатора нагрева.

Модельный ряд стандартных ультразвуковых моек с механическим управлением рассчитан на разную производительность с рабочим объемом от 1,5 до 27 литров (табл. 2.34).

Таблица 2.34 – Модельный ряд ультразвуковых моек с механическим управлением

Модель	Управление	Рабочий объем, л	Размеры рабочей емкости, мм	Мощность нагрева, Вт	Мощность УЗ, Вт
К-1	главный выкл.	1,5	155x140x70	120	40
К-2	главный выкл. и термостат	2,5	235x135x75	200	60
К-5	мех. таймер и термостат	5,4	300x150x120	200	150
К-6D	мех. таймер и термостат	6	500x140x100	500	150
К-9D	мех. таймер и термостат	9,2	500x135x125	500	300
К-10	мех. таймер и термостат	9,2	300x240x130	500	300
К-12	мех. таймер и термостат	12	330x300x120	500	300
К-17D	мех. таймер и термостат	17	600x140x200	500	300
К-25	мех. таймер и термостат	27	500x295x180	700	600

Технические характеристики ультразвуковых моек с механическим управлением:

- электропитание – 220 В / 50 Гц;
- частота ультразвука – 38 КГц;
- таймер – 1...15 мин, +/- 1 с;
- подогрев, термостат – 30...80 °С, +/- 2 °С;
- наличие сливного вентиля - 1/2".

Ультразвуковые мойки с электронным управлением.

Электронное управление позволяет программировать режимы работы мойки, наблюдать ее текущее состояние и значительно расширить функциональные возможности (рис. 2.80). Преимущества ультразвуковых моек с электронным управлением:

- сенсорное управление;
- возможность до 10-ти программ работы;
- регулировка интенсивности ультразвука;
- контроль времени действия ультразвука;
- контроль температуры моющего раствора.

Модельный ряд ультразвуковых моек с электронным управлением также рассчитан на разную производительность с рабочим объемом от 5,4 до 27 литров (табл. 2.35).

Технические характеристики ультразвуковых моек с электронным управлением:

- электропитание – 220 В / 50 Гц;
- частота ультразвука – 38 КГц;
- таймер – 1...15 мин, +/- 1 с;
- подогрев, термостат – 30...80 °С, +/- 2 °С;

- регулирование интенсивности ультразвука – 10...100% мощности;
- программирование – 10 программ;
- наличие сливного вентиля - 1/2".



Рисунок 2.80 – Общий вид ультразвуковой мойки с электронным управлением

Таблица 2.35 – Модельный ряд ультразвуковых моек с электронным управлением

Модель	Управление	Рабочий объем, л	Размеры рабочей емкости, мм	Мощность нагрева, Вт	Мощность УЗ, Вт
К-5Е	цифр. таймер и термостат	5,4	300x150x120	200	150
К-10Е	цифр. таймер и термостат	9,2	300x240x130	500	300
К-12Е	цифр. таймер и термостат	12	330x300x120	500	300
К-25Е	цифр. таймер и термостат	27	500x295x180	700	600

Модульные ультразвуковые ванны.

Для организации полного цикла очистки применяются модульные ультразвуковые ванны (рис. 2.81). Модульные системы ультразвуковой очистки включают следующие модули:

- ультразвуковые ванны;
- ванны промывки;
- система вакуумной сушки;
- система сушки горячим воздухом;
- маслосепараторы;
- системы фильтрации моющего раствора.



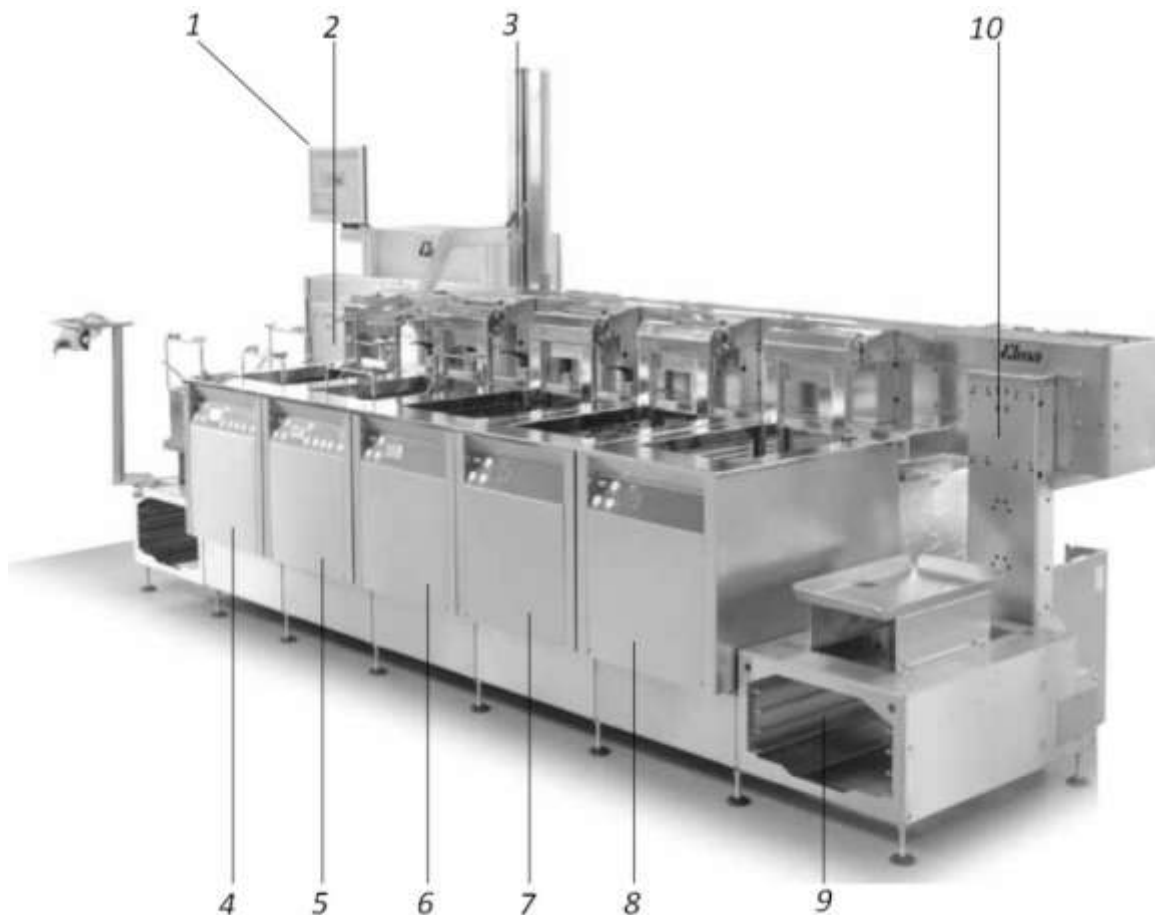
Рисунок 2.81 – Общий вид модульной очистной ванны

Автоматические комплексы ультразвуковой очистки.

В настоящее время применяются полностью автоматизированные комплексы по очистке поверхностей ювелирных изделий. Такие комплексы могут включать следующие секции:

- ультразвуковые ванны;
- промывочные ванны;
- сушки (горячим воздухом и в вакууме);
- системы очистки моющего раствора;
- маслосепараторы;
- транспортные системы;
- пультовые дистанционного управления и др. системы.

Примером автоматического комплекса ультразвуковой очистки ювелирных изделий является модульная линия очистки «Elmasonic X-tra» производства ELMA GmbH & Co, Германия (рис. 2.82) [39].



*1 – монитор управления; 2 – система качения; 3 – транспортный робот;
4 – модуль очистки ультразвуком; 5 – модуль промывки ультразвуком;
6 – модуль промывки; 7, 8 – сушильная камера; 9 – опорная рама, место
для хранения крышек; 10 – станция загрузки-разгрузки*

*Рисунок 2.82 – Общий вид модульной линии ультразвуковой очистки
«Elmasonic X-tra»*

Ультразвуковые генераторы и излучатели.

Для оборудования имеющихся на производстве ванн системами ультразвуковой очистки, применяются погружные ультразвуковые излучатели (рис. 2.83). Излучатели устанавливаются на дно, и при необходимости, на боковые стенки ванны. Погружные излучатели подключаются к генератору, формирующему ультразвуковые колебания с частотой 35...40 кГц. Нагрев моющего раствора обеспечивается промышленными нагревателями. Эффективная температура ванны при очистке ультразвуком составляет 40...80 °С.

В таблице 2.36 приведены составы моющих растворов для проведения ультразвуковой очистки ювелирных изделий [11].



Рисунок 2.83 – Погружной ультразвуковой излучатель

Таблица 2.36 – Составы моющих растворов для использования в ультразвуковых ваннах

Наименование компонентов	Номера растворов						
	1	2	3	4	5	6	7
	содержание компонентов, г/л						
Едкий натр (NaOH)	10	—	—	—	—	—	10
Углекислый натрий (Na_2CO_3)	30	—	30	40	5	40	70
Тринатрийфосфат (Na_3PO_4)	30	30	—	—	—	—	30
Смачиватель ОП-7	3	3	—	3	—	—	3
Мыло хозяйственное	—	—	2	—	—	—	—
Азотнокислый натрий (NaNO_3)	—	—	—	50	50	50	—
Кремнекислый натрий (Na_2SiO_3)	—	—	—	—	3	3	—

2.10.4 Промывка и сушка изделий

После операций электрохимической полировки и ультразвуковой очистки изделия промывают в холодной воде.

Плохая промывка может привести к браку – образованию поверхностной сыпи в виде ржавых пятен, что значительно ухудшит вид готовых ювелирных изделий. При недостаточной промывке в поверхностных порах на изделиях остаются частицы электролита, приводящие к образованию налета на поверхности полированного изделия. Промывку изделий следует производить тщательно в течение 10...20 с при непрерывном перемешивании изделий в промывочной ванне.

Схема промывочной ванны приведена на рисунке 2.84 [11].

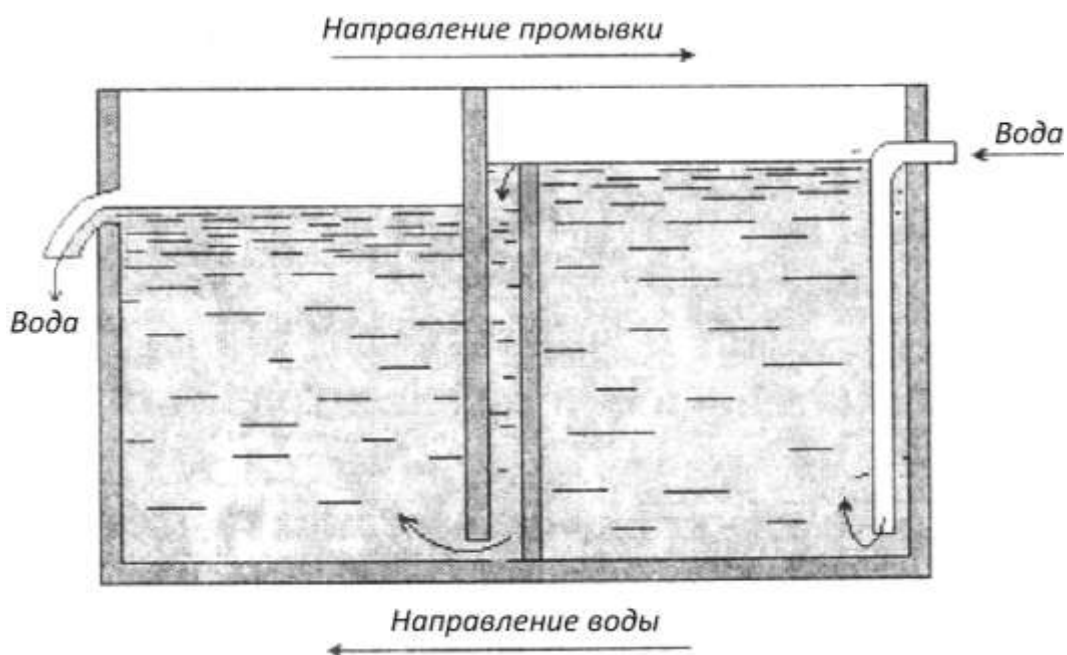


Рисунок 2.84 – Схема каскадной моечной ванны

После промывки изделий в холодной воде, их обрабатывают в депассивирующем растворе, затем опять промывают в дистиллированной воде.

Депассивирующий раствор готовят следующим образом: растворяют в 500 мл дистиллированной воды сначала 50 мл серной кислоты (плотностью $1,8 \text{ г/см}^3$), а затем 350 мл 30 %-й перекиси водорода. После перемешивания раствора доводят его объем до 1 литра.

После промывки в проточной воде обязательной операцией является сушка изделий. Несмотря на свою кажущуюся простоту, операция сушки влияет на качество ювелирной продукции. Проточная вода, даже дистиллированная (в незначительной степени), содержит разнообразные элементы: железо, соли и т.д. Капельки воды, оставшиеся на поверхности металла, испаряясь, оставляют белый налет. Невооруженному глазу такие пятна могут быть незаметны, однако поверхность готового изделия будет далека от идеальной и потеряет характерный блеск. Сушку можно производить при помощи горячего воздуха и опилок, которые, соприкасаясь с поверхностью металла, снимают влагу («сушка в кипящем слое»). Возможно также использование центробежных сушильных установок, в которых изделия вращаются с большой скоростью и обдуваются горячим воздухом.

2.11 Основные виды брака ювелирного литья

Классификация основных видов литейного брака ювелирных изделий, причины их появления, а также меры по их предупреждению описаны в таблице 2.37 [4].

Таблица 2.37 - Классификация видов литейного брака ювелирного литья, установление причин их появления и мероприятия по их устранению

Вид брака	Причина появления	Меры по предупреждению появления брака
1. Облой	1. Неверное соотношение порошок-вода в смеси (много воды); 2. Рабочий цикл смесеприготовления не вкладывается в заданный интервал.	1. Использовать необходимое количество воды в соотношении порошок вода = 1/38 (1/40); 2. Достичь рекомендуемую продолжительность цикла смесеприготовления (8...9 мин) при температуре 20...22°C.
2. Заливы	1. Рабочий цикл смесеприготовления очень длинный. Во время вакуумирования смесь начинает твердеть; 2. Опоку поместили на прокалку слишком рано; 3. Форма пересыхает перед попаданием в прокалочную печь.	1. Достичь рекомендуемую продолжительность цикла смесеприготовления (8...9 мин) при температуре 20...22°C; 2. Оставить опоки в покое на воздухе не менее чем на 1 ч.; 3. Если прокалка не осуществляется в тот же день, необходимо накрыть опоки влажной тканью.
3. Воздушные пузыри	1. Смесь слишком сухая (мало воды); 2. Смесь начинает твердеть еще при ее вакуумировании.	1. Достичь заданного соотношения порошок вода = 1/38 (1/40); 2. Достичь рекомендуемую продолжительность цикла смесеприготовления (8...9 мин) при температуре 20...22°C.

Продолжение таблицы 2.37

4. Шероховатая поверхность	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неровная поверхность восковых моделей; 2. Начальная температура проковки форм очень высокая. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применять покрытия при обработке поверхности резиновых пресс-форм; 2. Начальная температура проковки должна быть не больше 180 °С; 3. Максимальная температура прокаливания должна быть не больше 740 °С.
5. Неметаллические включения	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неровности в местах соединения восковых моделей в блоки; 2. Треснувший тигель; 3. Грязный металл; 4. Перегрев опок в процессе проковки. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Места соединения должны быть гладкими; 2. Заменить тигель; 3. Не использовать в качестве металлошихты более 50 % возврата, который должен быть чистым; 4. Максимальная температура проковки не должна превышать 740 °С.
6. Недолив	<ol style="list-style-type: none"> 1. Температура металла или опоки слишком низкая; 2. Некачественная сборка блока моделей; 3. Незавершенный цикл проковки. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повысить температуру металла, а опоки нагревать не менее чем до 740 °С; 2. Конструкция блока моделей должна обеспечить попадание металла без препятствий; 3. Увеличить время выдержки опоки при температуре 740 °С.
7. Газовая пористость	<ol style="list-style-type: none"> 1. Температура металла слишком высокая; 2. Незавершенный цикл проковки; 3. Опоки перегреты в процессе проковки; 4. Некачественный металл. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Снизить температуру металла; 2. Увеличить время выдержки опоки при температуре 740 °С; 3. Максимальная температура проковки не должна превышать 740 °С; 4. Не использовать в качестве металлошихты более 50 % возврата, который должен быть чистым.

Литература

1. ДСТУ ГОСТ 6835:2004 – Золото й сплави на його основі. Марки (ГОСТ 6835-2002. IDT).
2. Мутылина И.Н. Художественное материаловедение. Ювелирные сплавы: учеб. Пособие / И.Н. Мутылина. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2005. – 236 с.
3. Бреполь Эрхард. Теория и практика ювелирного дела. – Соло. – 2000. – 528 с.
4. Халилов И.Х., Халилов М.И. Ювелирное литье. – Махачкала. – 2000. – 104 с.
5. ДСТУ ГОСТ 6836:2004 – Срібло й сплави на його основі. Марки (ГОСТ 6836-2002. IDT).
6. ГОСТ 13498-2010 – Платина й сплави на її основі. Марки.
7. Платиновая лаборатория [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://platinumlab.ru/platina/mining.aspx>
8. Державна пробірна служба України [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://assay.gov.ua>
9. Лоуренс Калленберг. Моделирование из воска для ювелиров и скульпторов. Пер. с англ. – Омск: Издательский Дом «Дедал-Пресс». – 2004. – 256 с.
10. Кампанія Gemvision – моделювання за воском [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gemvision.com/global>
11. Халилов И.Х. Литье с камнями. – Махачкала. – 2003. – 184 с.
12. Компания «Рута» – все для ювелиров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ruta.ru/products/izgotrezinovih_form
13. Кампанія «Logimes» – Обладнання для ювелірного лиття [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.logimec.net/vulcan.html>
14. Компания «Castaldo» – Резина силиконовая, каучуковая формовочная для ювелиров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://castaldo.ru>
15. Компания «Лассо» – Ювелирное производство, хобби, декоративно-прикладное искусство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lasso.ru/morphogenesis/catalog/reziny-kholodnogo-otverzheniya/silicone/>
16. Валерио Фачченда. Литье по выплавляемым моделям. Справочник / В. Фачченда; Пер. с англ. – Омск: Издательский Дом «Дедал-Пресс». – 2005.
17. Каталог «РУТА – Все для ювелиров: ювелирный инструмент и оборудование, расходные материалы». – 2012, 215 с.
18. Гини Э.Ч. Технология литейного производства: Специальные виды литья: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э.Ч. Гини [и др.]; Под ред. В.А. Рыбкина. – М.: Издательский центр «Академия». – 2005. – 352 с.
19. Андреас Забат. BREDENT – техника литья по Sabath. – ГалДент. – 2008. – 233 с.

20. Телесов М.С., Ветров А.В. Изготовление и ремонт ювелирных изделий. – М.: Легпромбытиздат. – 1986. – 192 с.
21. Кампанія «Cimo» – Обладнання для ювелірного лиття [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cimosrl.it/eng/prodotti.asp>
22. Компания «Мастер-М» – Оборудование и расходные материалы для производства ювелирных изделий [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://j-master.ru>
23. Торгово-производственное объединение «Рундист» – Оборудование и инструмент для ювелиров [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rundist.com/product/centrobezhhttpa-litejnaja-mashina/>
24. Кампанія «Yasui & Co» – Обладнання для ювелірного лиття [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.yasui-world.com/casting-machine-vvc.asp>
25. ООО «Спарк-Дон, ЛТД» – Производство зуботехнического оборудования ювелиров [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://spark-don.ru/2011/09/cl-30>
26. Гутов Л.А. Художественное литье из драгоценных металлов / Л.А. Гутов и др. – Л.: Машиностроение, 1988. – 224 с.
27. Кампанія «Neutec» – Обладнання для ювелірного лиття [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.neutec.com>
28. Кампанія «Topcast» – Обладнання для ювелірного лиття [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.topcast.it/tvcs>
29. Кампанія «INDUTHERM Erwärmungsanlagen GmbH» – Обладнання для ювелірного лиття [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.indutherm.de/en>
30. ООО «Индукционные установки» – Расходные материалы, графитовые тигли [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mexel.ru/tigel.html>
31. Бузов А.А., Трубицын М.А., Чуев В.П. Отечественные керамические тигли для индукционных литейных установок фирмы «ВладМиВа» // Зубной техник. – 2011. – № 2 – С. 109...112.
32. Кампанія «Logimec» – Обладнання для ювелірного лиття [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.logimec.net/eng/idrogesso.html>
33. ООО «АВ ПОЛИСТАР» – Оборудование, инструменты, расходные материалы для ювелирного оборудования [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.polystar.com.ua>
34. Кампанія «Dr. Ing. Manfred Dreher GmbH & Co» – Обладнання для фінішної обробки ювелірних виробів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.hellotrade.com/dr-ing-manfrid-dreher-gmbh-cokg/product.html>
35. Кампанія «Raytech Metal Finishing Solutions» – Обладнання для фінішної обробки ювелірних виробів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.raytechmetalfinishing.com/vibratory-tumblers-tombstone.php>
36. Каталог «РУТА – Все для ювелиров: ювелирный инструмент и оборудование, расходные материалы». – 2007, 202 с.

37. Исследование процесса магнитной галтовки в магнитно-абразивном устройстве [Электронный ресурс] / В. А. Полетаев [и др.] // Вестник ИГЭУ. – 2012. – №. 4. – Режим доступа: http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/publications/42-45_1.pdf

38. Компания «KRAINTEK – Украина» – Ультразвуковая и форсуночная очистка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kraintek.com.ua/id8.html>

39. Компанія «Elma» – Виробництво технологічного обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.elma-ultrasonic.com/en/jewellery/ultrasonic-cleaning-technology/elmasonic-x-tra-line.html>

ТЕХНОЛОГІЯ ХУДОЖНЬОГО ЛИТВА

Частина 2. «Лиття ювелірних виробів»

(Технология художественного литья. Часть 2. «Литье ювелирных изделий»
- Конспект лекций)

Укладач: ФЕДОРОВ Микола Миколайович

Видавець і виготовник
«Донбаська державна машинобудівна академія»
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру
серія ДК №1633 від 24.12.03.