

И. П. Козицын



**ОБЪЁМНОЕ
МОЛЛИРОВАНИЕ
СТЕКЛА**

ISBN 978-5-6044693-5-4



9 785604 469354

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ХУДОЖЕСТВЕННО ПРОМЫШЛЕННАЯ АКАДЕМИЯ
имени А. Л. Штиглица»**

Кафедра монументально-декоративной скульптуры

И. П. Козицын

ОБЪЁМНОЕ МОЛЛИРОВАНИЕ СТЕКЛА

Учебно-методическое пособие
для обучающихся по направлениям подготовки 54.03.01 — Дизайн,
54.03.02 — Декоративно прикладное искусство и
народные промыслы.
Профили подготовки — «Дизайн стекла» и «Художественное стекло»

Санкт-Петербург

2020

УДК 73.023.7
ББК 85.125
К59

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А. Л. Штиглица» в качестве учебно-методического пособия.

Рецензенты:

Л. Т. Жукова, директор ФГБОУ ВО «СПбГУПТД», зав. кафедрой технологии художественной обработки материалов и ювелирных изделий, д.т.н., профессор.

Ю. Н. Мерзликина, зав. кафедрой декоративно-прикладного искусства МГИК, заслуженный художник России, член-корреспондент РАХ, кандидат искусствоведения.

К. А. Спассков, заведующий кафедрой художественной обработки металла СПГХПА им. А. Л. Штиглица, доцент.

С. Е. Сухарев, заведующий кафедрой художественной керамики и стекла СПГХПА им. А. Л. Штиглица, профессор.

К59 Козицын И. П.

Объемное моллирование стекла: учебно-методическое пособие / Козицын И.П.; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А. Л. Штиглица». — Санкт-Петербург: СПГХПА им. А. Л. Штиглица, 2020. — 148 с. : ил.
ISBN 978-5-6044693-5-4

Учебно-методическое пособие «Объемное моллирование стекла» предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 54.03.01 — Дизайн, 54.03.02 — Декоративно-прикладное искусство и народные промыслы. В пособии рассматриваются современные технологические основы метода классического объемного моллирования, излагается общая историческая и практическая информация о моллировании стекла как о технологическом методе, используемом при создании скульптуры из стекла. В данном пособии также освещается специфика преподавания технологических процессов для студентов различных направлений подготовки, в программе которых изучение дисциплины занимает один год. Учебный материал представлен в соответствии с учебной программой.

ISBN 978-5-6044693-5-4

© И. П. Козицын, 2020
© ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А. Л. Штиглица», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Что же такое стекло?.....	6
2. История развития технологии художественной пластической деформации стекла.....	8
3. Вязкость как основной параметр, определяющий пластические и деформационные свойства стекла, в процессе объемного моллирования.....	27
4. Современные технологические приёмы, используемые в технике классического объёмного моллирования.....	47
Заключение.....	88
Список рекомендуемой литературы.....	89
Приложение 1.....	92
Приложение 2.....	106
Приложение 3.....	112
Приложение 4. Глоссарий.....	142

ВВЕДЕНИЕ

История стеклоделия восходит к глубокой древности. Уже в третьем тысячелетии до нашей эры археологи находят искусственно созданные стеклообразные материалы. Они выгодно отличались от природных многообразием различных форм, широким цветовым спектром и использовались в первую очередь как декоративные материалы. Основным направлением использования стекла в древности было ювелирное, художественное применение, а в дальнейшем и утилитарное применение в виде посуды.

С развитием человеческой цивилизации совершенствовались и приёмы получения стекла. Одним из первых способов горячего декорирования стекла, известных ещё во 2 тысячелетия до н. э., был способ горячего формования материала, известный в настоящее время как способ объёмного моллирования стекла.

Метод размягчения и сплавления стекла, известный ещё в Древнем Египте, в настоящее время представляет собой достаточно совершенный приём горячего формования и декорирования стекла. Сформировались различные приёмы пластической деформации стекла, основанные на различных свойствах материала и зависимости вязкости от температуры.

В данной работе предпринята попытка выделить способ объёмного моллирования стекла как самостоятельный способ декорирования материала, проследить исторические этапы развития метода с момента его зарождения до настоящего времени, отметить необходимую преемственность процессов, выделить их общие закономерности и специфические приёмы развития.

Во второй части работы будут рассмотрены основные типы современных промышленных и художественных стёкол и свойства, влияющие на «технологическую пригодность» к процессу объёмного художественного моллирования.

В заключительной части будет представлено описание технологической части процесса объёмного моллирования, а также даны рекомендации к использованию.

1. ЧТО ЖЕ ТАКОЕ СТЕКЛО?

Найти определение слову «стекло» довольно нелегко.

В учебниках по химии и технологии стекла везде можно столкнуться с определением стеклообразного состояния вещества, причём оно просто базируется на констатации определённых свойств материала, основанной на уже подготовленной базе знаний по материаловедению, сложной для представления. Но всё же удалось найти одно из доступных определений.

Согласно определению Комиссии технической терминологии Академии наук СССР 1933 года, стеклом называется тело, полученное путём переохлаждения расплава независимо от состава и температуры и приобретающее в результате постепенного увеличения вязкости механические свойства твёрдых тел. При этом процесс перехода от переохлаждённого состояния в разогретое должен быть обратимым.

Сразу стоит оговориться, что под стеклом тут будет пониматься небольшой круг стеклообразных материалов, а именно — оксидные силикатные стёкла. Мы рассмотрим, что это такое, чуть ниже, а сейчас попробуем разобрать предложенное определение.

Стекло — это переохлажденная жидкость. Переохлажденная жидкость — это жидкость, охлаждённая ниже температуры замерзания, но не меняющая своего фазового состояния. При снижении температуры жидкости стекло увеличивает свою вязкость до такой степени, что оно практически перестаёт отличаться от твёрдого тела, но при этом остаётся жидкостью. Современные же взгляды на состояние стекла при комнатных температурах называют его аморфным твёрдым телом со всеми вытекающими свойствами.

При внешнем воздействии аморфные вещества обнаруживают одновременно упругие свойства, подобно кристаллическим твёрдым веществам, и текучесть, подобно жидкости. Так, при кратковременных воздействиях (ударах) аморфные вещества ведут себя как твёрдые вещества, а при сильном ударе раскалываются на куски. Но при очень

продолжительном воздействии (растяжении или сжатии), аморфные вещества текут. Например, аморфным веществом является смола (или гудрон, битум). Если раздробить её на мелкие части и получившейся массой заполнить сосуд, то через некоторое время смола сольётся в единое целое и примет форму сосуда. Аналогичное предположение можно сделать и относительно стекла, но за более продолжительный период времени.

Но ничего не бывает абсолютным, и стекло при этом не абсолютно аморфно. Аморфность стекла во многом определяется скоростью остывания. Чем быстрее остывает стекло, тем оно больше аморфно, а чем медленнее, тем оно больше склонно к кристаллизации.

Примером может служить кварцевое стекло. Кварц (SiO_2) также имеет низкую скорость кристаллизации, поэтому отлитые из расплава кварца изделия получаются аморфными. Однако природный кварц спустя сотни и тысячи лет кристаллизации при остывании земной коры имеет крупнокристаллическое строение.

Другими словами, если построить печь, расплавить в ней стекло и затем пару сотен тысяч лет её студить, то стекло станет кристаллическим.

Так что же такое стекло? Жидкость или твёрдое тело? Кристаллическое или аморфное? И то, и другое, и третье, и четвёртое.

Нобелевский лауреат Уоррен Андерсон однажды сказал: «Самая глубокая и интересная из неразрешённых проблем в теории твёрдого состояния кроется в природе стекла», а Михайло Ломоносов писал Ивану Шувалову:

*«Неправо о вещах те думают, Шувалов,
Которые Стекло чтут ниже Минералов,
Приманчивым лучом блистающих в глаза:
Не меньше польза в нем, не меньше в нем краса».*

2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СТЕКЛА

Первое стекло, примерно соответствующее его современному пониманию, возникло в Древнем Египте. Из него изготавливались всевозможные ювелирные изделия, бусы, браслеты, подвесы, небольшие фигурки и флаконы.

На первом этапе, который длился не одно тысячелетие, мастера имели дело с достаточно вязким материалом, так как примитивные печи не могли обеспечить высокую температуру. Именно этот факт и обуславливал технологию формования стеклоизделий.



Рис. 1. Кратерикс. Стекло. 14–13 в. до н.э.
Государственный Эрмитаж. Санкт-Петербург

Наиболее доступным способом деформации расплава стекла был приём, основанный на его пластичности и способности вытягиваться в нити. В то время вязкость стекла не позволяла вытягивать очень тонкие нити. Самые тонкие из них были не меньше 3 мм. Способ изготовления изделий подобным образом заключался в следующем: конец металлического прутка нагревался и окунался в расплав стекла, набранная таким образом капля

стекла закатывалась в цилиндр, прогревалась и вытягивалась в дрот или нить. В дальнейшем эти нити комбинировались по цветам и навивались на ранее изготовленный керамический сердечник. В результате длительных манипуляций, многократных прогревов и охлаждений получались интересные изделия (рис. 1).

Современная интерпретация процесса, приведённая на рис. 2, подтверждает правильность технологических выводов, сделанных археологами.

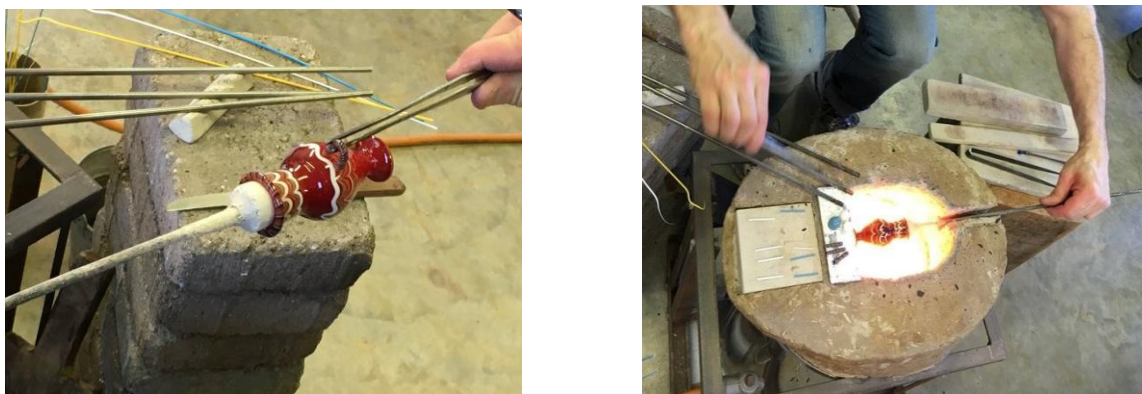


Рис. 2. Современная интерпретация изготовления древнеегипетского флакона методом «керамического сердечника»

Подобным же образом изготавливались и другие маленькие косметические сосуды. Сначала сооружался особый «сердечник», соответствовавший по форме и размерам внутренней полости сосуда. Материалом для сердечника служила смешанная с песком глина. Сердечник обёртывался куском тряпки и завязывался бечевкой. Следы ткани и завязки часто можно наблюдать на внутренней поверхности сосуда. Это было необходимо для того, чтобы сгорающая ткань образовывала промежуточный угольный слой между стеклом и сердечником, что позволяло в дальнейшем легко извлечь сердечник из изделия.

После высыхания сердечник обматывали стеклянной нитью, затем подвергали нагреванию и раскатывали до тех пор, пока тело флакончика не получало должной формы, а его поверхность не становилась гладкой. После этого сердечник извлекался, и мастер вручную оформлял горлышко, прилеплял ручки и заканчивал отделку изделия.

Стоит отметить интересную аналогию: появившаяся в последние годы технология 3D печати стеклом представляет собой ни что иное, как современную вариацию технологии Древнего Египта (рис. 3).



Рис. 3. Современный способ 3D печати расплавленной стекломассой

По прошествии веков технологии деформации стекла понемногу развивалась. Появились более совершенные приёмы формования из расплава стекла. И в первую очередь это относится к заимствованию у керамической технологии гончарного круга. Данное заимствование позволило не только значительно увеличить размеры изготавливаемых изделий, но и во многом их усложнить. Стабильность вращения круга также позволила повысить качество изготавливаемых изделий.

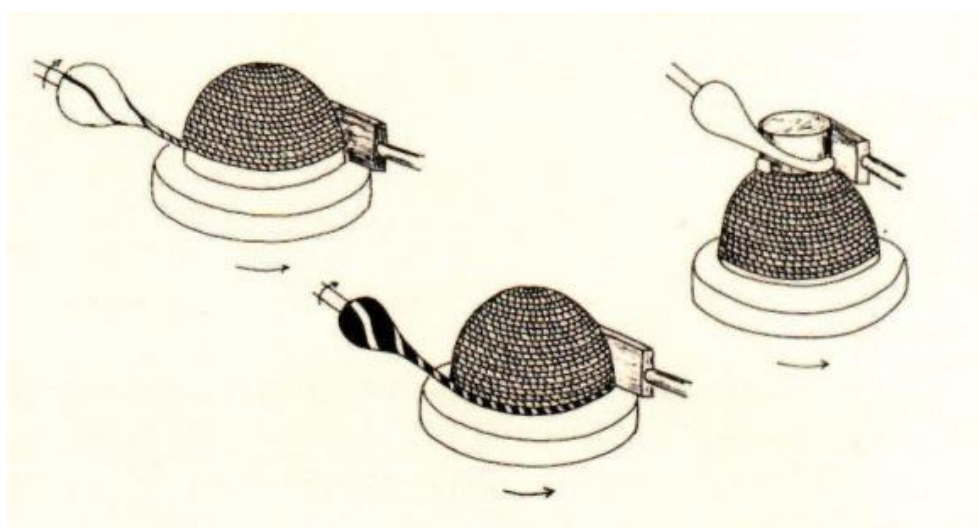


Рис. 4. Способ формирования изделия из стеклянной нити методом намотки на сердечник на вращающемся круге

На рис. 4 изображён усовершенствованный способ формирования изделия из стеклянной нити. Сердечник из глины расположен на вращающемся круге. Стеклянная нить, поправляемая дощечкой, наматывается на сердечник. В результате этого получается представленная на рис. 5 чаша с сеткой.



Рис. 5. Чаша с сеткой, Восточное Средиземноморье. 2 в до н.э., стекло — Landesmuseum Württemberg, Штутгарт, Германия

Подобное усовершенствование позволило во многом ускорить процесс изготовления изделия, повысить его качество и увеличить ассортимент.

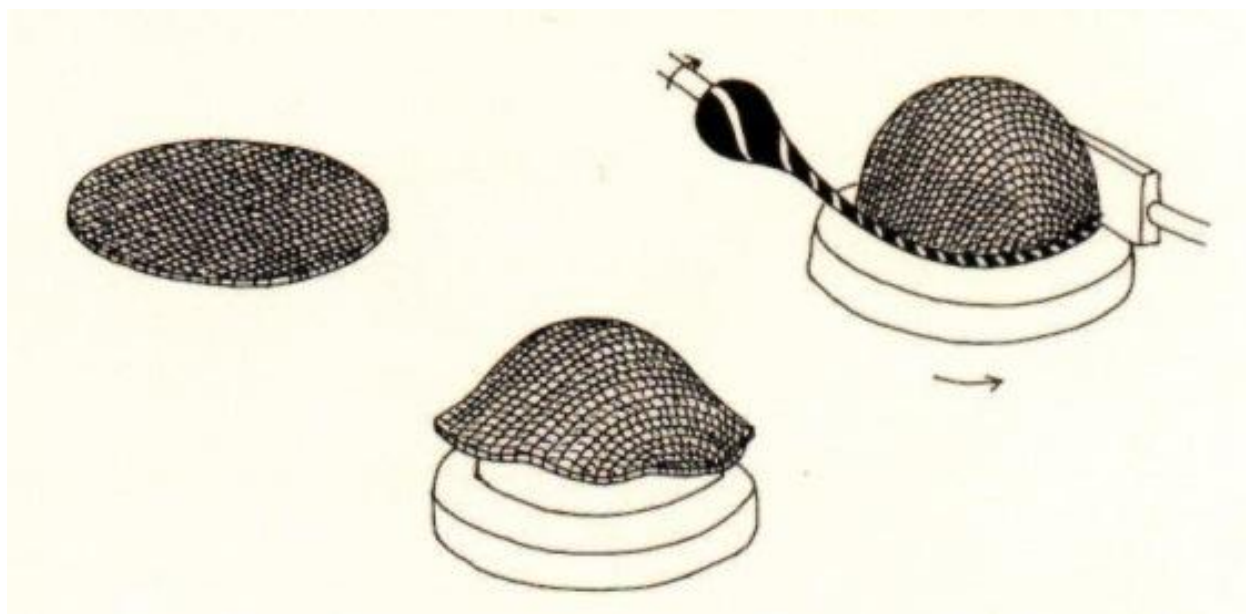


Рис. 6. Способ формирования изделия из пласта на сердечник на вращающемся круге

На рис. 6 Показана технология изготовления подобной чаши, но в качестве заготовки на сердечник накладывается не стеклянная нить, а нагретый до пластичного состояния стеклянный блин, приготовленный заранее. Этот приём позволил использовать не только дроты для декорирования чаши, но и другие декоративные элементы, в частности мильфеори.



Рис. 7. Стеклянная мозаичная миска, Восточное Средиземноморье, 1 в до н.э. (коллекция the J. Paul Getty Museum, Лондон)

На рис. 7 показана стеклянная мозаичная миска, выполненная с использованием подобной техники.

Технология использования вращающегося круга для формования изделий из стекла в то время была крайне разнообразна. Она позволяла делать не только небольшие стеклянные изделия, но и достаточно крупные, до 30 см в диаметре. Для каждого изделия использовался индивидуальный сердечник. На рис. 8 изображены технологические схемы изготовления пиксидов (специальных сосудов) и ребристых чаш с использованием вращающегося круга.

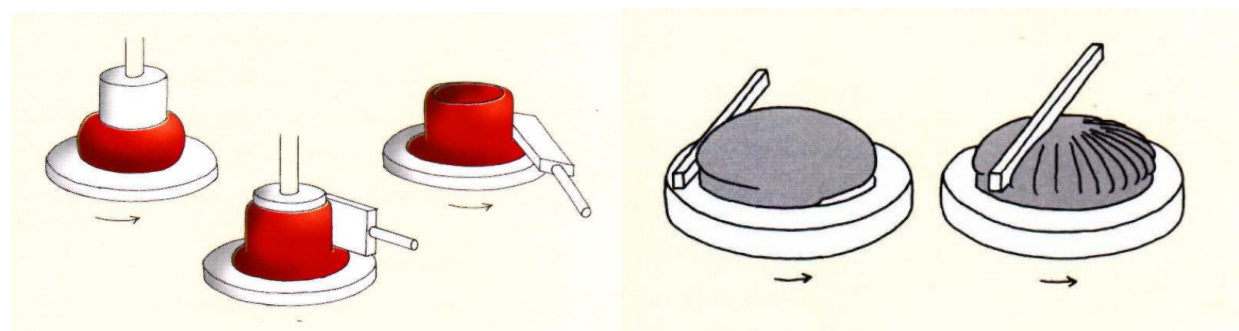


Рис. 8. Технологические схемы изготовления пиксидов и ребристых чаш с использованием керамического сердечника на вращающемся круге

На рис. 9 представлены фотографии изделий, изготовленных подобной технологией.

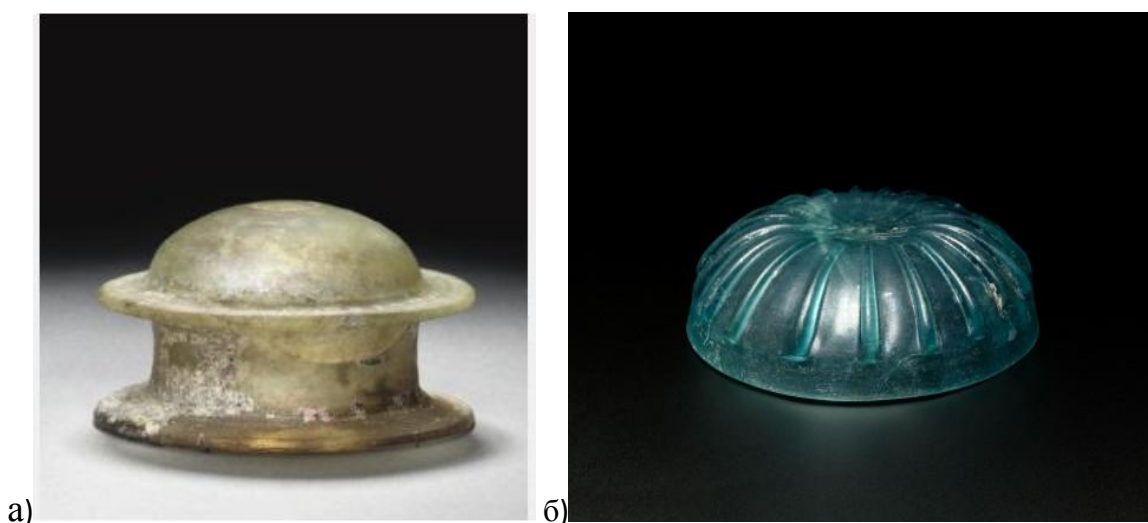


Рис. 9. а) Эллинский зелёный стеклянный пиксид, 2 в до н.э. Археологический музей, Барселона.
 б) Ребристая чаша. Литье, пресс, 1 в н.э. Лувр, Париж

В приложении 1 представлены дополнительные фотографии стеклянных изделий, изготовленных подобным способом с применением вращающегося круга.

Данная технология не канула в лету. В современном стекольном производстве она модернизировалась и превратилась в центробежное формование стеклоизделий. На рис. 10 показан процесс современного центробежного формования художественного изделия.

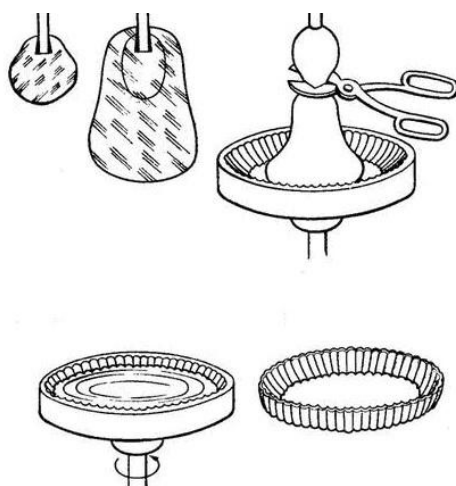


Рис. 10. Технологическая схема современного процесса центробежного формования изделий

Как отмечалось ранее, изделия из стекла с самого начала носили в основном утилитарный характер. Это были всевозможные ёмкости: сосуды, тарелки, чаши. Но уникальные свойства стекла позволяли создавать не только посуду, но и ювелирные украшения. Пластичность стекла, способность его с точностью копировать форму, яркая цветовая гамма были замечены древними ювелирами. Даже без рассмотрения технологии изготовления стеклянных бусин можно заметить, что древние мастера умели изготавливать сложные художественные изделия из стекла, что подтверждается многими археологическими находками. На рис. 12 показано изделие из египетского кускового стекла, изображающее птицу Ба с человеческой головой. Тело выполнено из непрозрачного голубого стекла, окрашенного оксидом меди, голова выполнена из непрозрачного стекла жёлто-оранжевого цвета, возможно, в попытке имитировать позолоту. На изделии видно прекрасную детализацию крыльев птицы, оперения, ног и особенностей тела.

Это прекрасное изделие, как и многие другие (см. приложение 1), было получено путём разогрева приготовленного ранее цветного стекла в специальных жаростойких формах, его полного расплава и последующего медленного охлаждения.



Рис. 11. Египетская птица Ба, 5–4 в до н. э.
Частная коллекция Уильяма Фроелича, Нью-Йорк, США

Это пример классического моллирования стекла в форму. В дальнейшем мы рассмотрим особенности этого процесса и детально пройдем по всем стадиям производства подобных изделий в современных условиях художественной мастерской.

Стеклоделие в древнем мире развивалось не равномерно, а согласно цивилизационным циклам развития. Этапы всплеска развития чередовались периодами длительного застоя. Это совершенно не значит, что в эти периоды стекло не производилось. Оно производилось, но экстенсивно, без возникновения новых технологических процессов.

Новый период развития стеклоделия начался примерно в 1 веке нашей эры с момента изобретения стеклодувной трубки. Этот революционный способ стеклоделия на многие века определил направление его развития. Возможность изготавливать изделия методом выдувания надолго остановила менее производительный метод пластической деформации стекла и низвела его до вспомогательного процесса.

Вторым всплеском в развитии стеклоделия этого времени стала возможность холодной обработки стекла: его декорированием с помощью режущих инструментов. Конечно, этот способ был известен и ранее, но именно с 1 века нашей эры он получил толчок в развитии. Появилась

возможность делать рельефным стекло более простыми и производительными способами. Кроме того, параллельно развивались и другие не стекольные технологии, позволяющие проявлять художественное отражение действительности иными материалами и инструментами.

Пластическая деформация стекла как самостоятельный технологический процесс ушла с первых рядов во вспомогательную операцию и многие века существовала, и существует как гутная техника в выдувании стекла.

Очередной всплеск развития технологии пластической деформации стекла (моллирования) как самостоятельного проявления художественного отражения действительности пришёлся к второй половине XIX в. Этому способствовало несколько факторов.

Во-первых, появившийся в I веке нашей эры основной метод формования стеклоизделий — выдувание — подошёл к максимуму своих возможностей. К этому времени были созданы практически все технологические процессы, основанные на этом принципе, включая в себя технологии машинного выдувания изделий, автоматического прессования и вытягивания стекла.

Во-вторых, ручное художественное стеклоделие, основанное опять же на процессе выдувания, также достигло своего максимума в возможностях своего художественного выражения. Дальнейшее развитие на имеющейся технологической базе уже не представлялось возможным. Кроме того, художественное стеклоделие так или иначе базировалось на утилитарном использовании, пусть дорогим, высокохудожественным, но утилитарным.

В-третьих, развитие экономических отношений общества, появление новых сословий требовало новых проявлений художественного отражения действительности в материале и, как следствие, появления новых художественных течений. Поиск гармонии искусства и жизни в промышленную эпоху требовали нового или хорошо забытого старого способа выражения.

В-четвертых, развитие науки и материаловедения привело к появлению новых материалов и оборудования, значительно облегчающих процессы термической обработки стекла. В частности, появились надёжные инструменты контроля высоких температур.

И пятым не маловажным фактором стало появление возможности совмещения искусства обработки материала и высоких технологических знаний. Именно это сращивание и послужило появлению творческих людей, оперирующих обеими группами знаний и умений.

Именно этот базис и привёл к возрождению такого давно забытого способа пластической обработки стекла, как моллирование в форму. Одним из основоположников возрождения художественного объёмного моллирования был Рене Лалик.

Рене Лалик приобрёл популярность как автор ювелирных украшений и аксессуаров. Для своего времени Лалик выделялся использованием, помимо драгоценных металлов и камней, также стекла. Он создавал необычных формы динамичные произведений.

Лалик занимался производством разнообразных стеклянных изделий на двух фабриках: на фабрике в Комб-ла-Виль с 1910 года и на заводе в Винжен-сюр-Модере, приобретённом в 1918 году. Среди изготавливаемых стеклянных изделий Лалика были вазы, кабинетные скульптуры, осветительные приборы, ювелирные украшения с использованием цветного стекла.



Рис. 12. Рене Лалик

Среди наиболее известных произведений Рене Лалика — вазы «Вакханки», «Лучники», «Неразлучники», а также стеклянные скульптуры «Сюзанна», «Таис», «Флореал» и огромное количество других (см. приложение 1).



Рис. 13. Ваза «Вакханки»

Рене Лалик много экспериментировал с цветным стеклом. Если первые его работы были выполнены методом «исчезающего воска» (взятым им из ювелирных техник), то затем он разработал и внедрил на заводе в Винжен-сюр-Модере метод литья под вакуумом. Так были выполнены многие его скульптуры и вазы.



Рис. 14. Стеклянная скульптура «Флореал»

Необычное цветное стекло и стекло с нанесённой на него патиной (цветной эмалью) — характерная особенность произведений Лалика. Рецепт знаменитого опалесцентного стекла Лалика до сих пор является «секретом фирмы».

Свой талант Лалик приложил и к созданию стеклянных флаконов для парфюмерной компании «Коти» и других (Nina Ricci и сегодня пользуется стеклянными флаконами Lalique).

В последние годы жизни Рене Лалик много занимался «крупными формами»: оформлением гостиниц, церквей, ресторанов. Пароход «Нормандия» оформлен фирмой Lalique. Световые панели, люстры, бра, панели дверей, колонны, предметы сервировки, посуда, интерьерные украшения, фонтаны и многое другое выпущено фирмой в 1930–40 годы.

Главным фактором успеха Рене Лалика была творческая преемственность стилей. Базируясь на разработанных ранее технологиях, а также активно создавая свои технологические секреты, Лалик активно внедрял их в свой творческий процесс.

Не менее важными составляющими творческого успеха были способность Рене Лалика к совмещению различных технологий, умение анализировать общие принципы незнакомого процесса и внедрение его элементов в свой технологический процесс.

Другим интересным способом пластического формования стекла, возродившимся на рубеже XX века, была техника Pate de Verre. Это изготовление стеклянных изделий методом спекания стеклянной пасты.

Ещё со времён Плиния известен рецепт «холодного пластичного стекла». Спекание стеклянной пасты являлось одним из старейших методов изготовления изделий стекла, но было забыто на тысячелетия и вновь открыто в конце XIX века.

Исследования Генри Кросса привели его к разработке первой стеклянной пасты для холодного формования, которая затем спекалась в печи при относительно не высоких температурах.

Генри Кросс, будучи художником и технологом, много экспериментировал с различными материалами. Начиная как скульптор и живописец, он увлекся пластичными материалами и через керамику пришёл к стеклу. Его работы, являясь новаторскими для своего времени, имели успех. Он создавал огромные скульптурные стеклянные композиции. Примером может служить созданная в 1902–1905 годах работа «Апофеоз», находящаяся в Париже в доме Виктора Гюго (рис. 15).

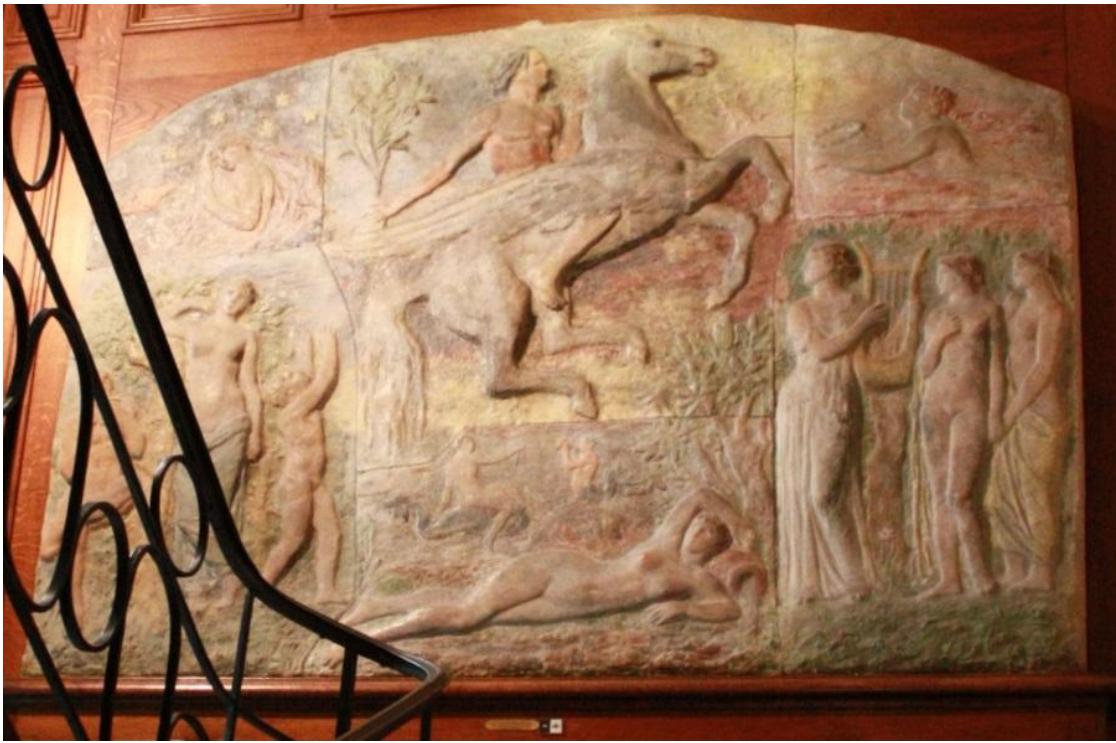


Рис. 15. Панно «Апофеоз». Париж. Дом Виктора Гюго

Франсуа Декоршамон и Жорж Деспре также работали в технике спекания стеклянной пасты. Это были творческие личности, совмещавшие в себе художественное видение и технические знания.

Стеклянная паста, имеющая особое зерно, образует при спекании уникальную текстуру, имитирующую керамику.

Технология изготовления практически полностью повторяла приёмы, использовавшиеся в Древнем Египте. Формы из огнеупорного материала получались методом заливки восковых моделей с их последующим вытапливанием. После этого форма обжигалась и заполнялась цветной крошкой. Заполненная крошкой форма нагревалась повторно, и крошка спекалась в монолит, после чего стекло отжигалось, и форма разбиралась. Технология была достаточно сложной и многодельной для своего времени и во многом перекликалась с более производительной и простой керамической технологией. Возможно именно поэтому технологический всплеск, возникший в конце XIX в., практически закончился в 20-е годы XX в.



Рис. 16. Голова девушки. Техника Pate de Verre

Новый толчок развития техники Pate de Verre начался уже в 90-е годы XX века, но уже на несколько другой художественной и технологической базе.

Современная техника спекания стеклянной крошки уже не перекликается с керамической технологией и имеет свое неповторимое выражение (приложение 1).



Рис. 17. Скульптура «Волна», выполненная в современной технике Pate de Verre

В Советском Союзе развитие к разработке технологических процессов художественного моллирования подошли с несколько другой стороны. Попытка решать все процессы на государственном уровне привела к тому, что технология моллирования стекла и его художественное применение были раздельными. Технология художественного моллирования разрабатывалась корифеями советского стеклоделия — Николаем Николаевичем Качаловым и

Владимиром Владимировичем Варгиным на базе кафедры стекла Ленинградского Технологического Института им. Ленсовета. Разработанная ими технология изготовления стеклянных скульптурных композиций и элементов декора была использована для творчества такими знаменитыми скульпторами, как Вера Игнатьевна Мухина. Её работы в технике моллирования «Ветер» и «Сидящая девушка» (рис. 18) являются классикой Советского стеклоделия.

Особенностью технологического изготовления данных скульптур, разработанной советскими технологами, был приём использования «горячей заготовки», когда в литник разогретой до 750–800 градусов формы, находящейся в печи, помещался горячий стеклянный шар, сформированный мастером-выдувальщиком непосредственно у стеклодувной печи. Процесс моллирования значительно ускорялся, так как сокращалось время на разогрев формы и стекла. При этом кардинально улучшалось качество моллируемого изделия. Но главной особенностью данного процесса являлось то, что для моллирования могло использоваться практически любое стекло, независимо от его технологических характеристик, о которых пойдет речь ниже.

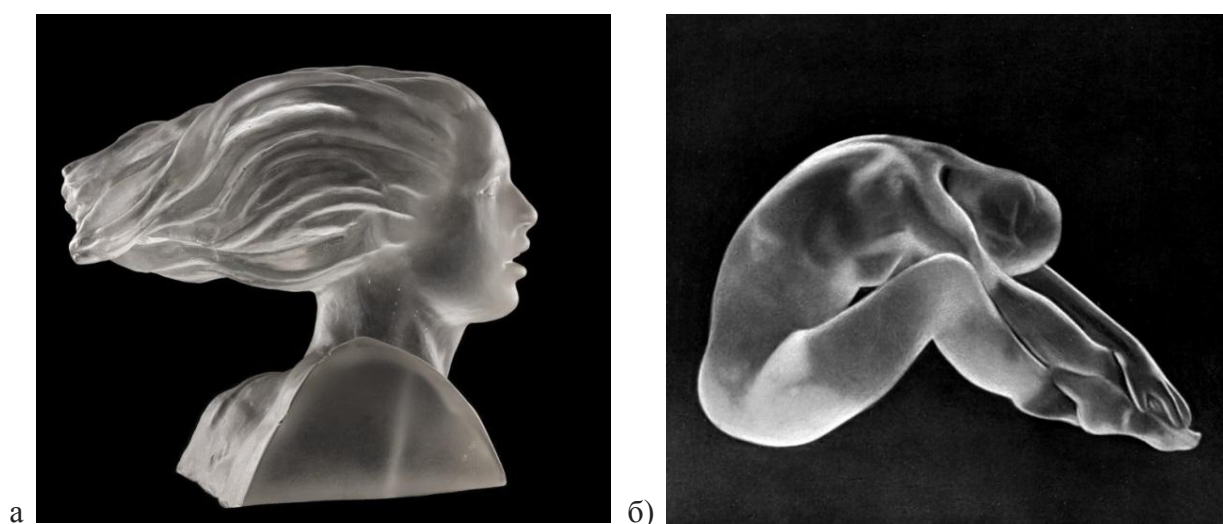


Рис. 18. Стеклянные скульптуры В. И. Мухиной
а) Ветер. б) Сидящая девушка

Отличительной стороной Советского скульптурного стеклоделия было направление создания комплексных (сборных) скульптур и архитектурных решений из стекла. Зачастую технология разрабатывалась непосредственно под поставленную задачу. Для изготовления элементов использовалась техника прессования стекла. Наиболее выдающимся архитектурным решением с использованием стекла можно считать интерьер станции метро «Автово» в Санкт-Петербурге (рис. 19).

Подземный зал сооружен по проекту архитекторов Е. А. Левинсона, А. А. Грушке и инженера С. М. Эпштейна. Большую помощь в создании станции оказали учёные, особенно известный знаток художественного стекла, член-корреспондент Академии наук Н. Н. Качалов. Другие работы советского скульптурного стеклоделия, выполненные в техниках моллирования и прессования стекла, можно увидеть в приложении 1.

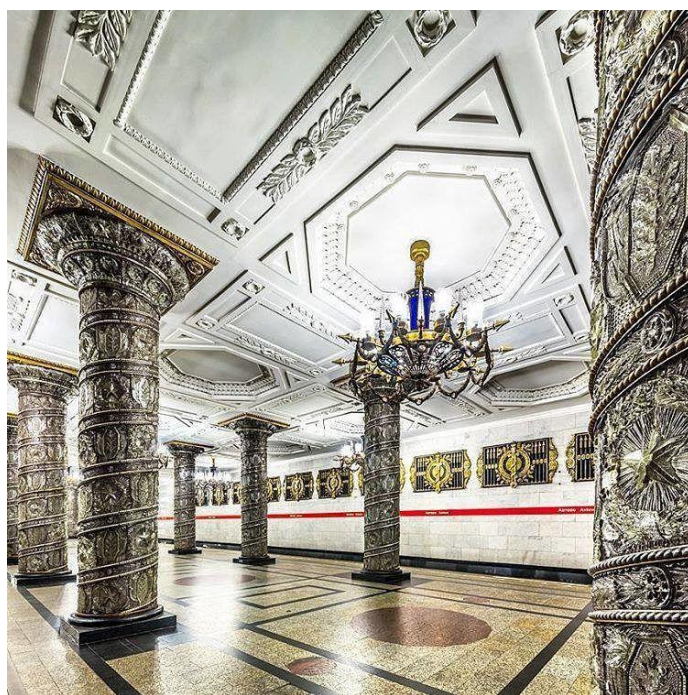


Рис. 19. Интерьер станции метро «Автово». Санкт-Петербург

Монуменальность и помпезность советской архитектуры, характеризующие ныне как «Сталинский ампи́р», сыграли злую шутку с использованием стекла в архитектурных решениях. Для изготовления прессованных заготовок стекольных композиций создавались крайне

дорогостоящие индивидуальные технологические решения. Создаваемые металлические пресс-формы были практически одноразовыми, их повторное использование в других интерьерах было малопригодно. Необходимое для прессования оборудование мало использовалось на заводах, а специфика технологических процессов, отличающаяся от поточных заводских технологий, также не способствовала удешевлению конечного изделия.

В результате всего художественное стекло в советской архитектуре с 50-х годов XX в. и по настоящее время отошло в резервацию монументального витража, мозаики и осветительной техники.

Сам же процесс классического моллирования, восстановленный советскими учёными, в виду своей малой востребованности в народном хозяйстве СССР постепенно забывался и деградировал. Его преподаванию в художественных вузах отводилось второстепенное значение, а о технологическом развитии процесса моллирования не могло быть и речи, так как выпускаемые художественными вузами специалисты были заточены под имеющиеся многочисленные стекольные заводы.

После развала СССР и закрытия большинства стекольных заводов, занимающихся художественным стеклоделием, остро возник вопрос о дальнейшей специализации выпускников художественных вузов, занимавшихся стеклом. Абсолютное большинство специалистов были выпущены в «свободное плавание». Не имея достаточно глубоких технологических знаний, выпускники столкнулись с потребностью дополнительного технического и технологического образования и самостоятельного обучения.

Моллирование — древняя технология пластической деформации стекла, базирующаяся на современных способах обработки и материаловедения, — с нашей точки зрения может являться очень полезной составляющей в учебном процессе подготовки студентов художественного вуза.

3. ВЯЗКОСТЬ КАК ОСНОВНОЙ ПАРАМЕТР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ПЛАСТИЧЕСКИЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТЕКЛА, В ПРОЦЕССЕ ОБЪЁМНОГО МОЛЛИРОВАНИЯ

Вязкость — свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

Для визуального восприятия самого процесса вязкости материала был проведён самый длинный в мире эксперимент, не завершённый и в наши дни. Этот эксперимент начал профессор Томас Парнелло из университета Квинсленда в Брисбене (Австралия) в 1927 году с целью продемонстрировать учащимся, что некоторые вещества, которые кажутся твёрдыми, на самом деле являются жидкостями очень высокой вязкости. Парнелл налил нагретый образец гудрона в запечатанную воронку и оставил его там на три года. В 1930 году горлышко воронки распечатали, что позволило пеку начать течь. Большие капли формировались и падали с периодичностью раз в десятилетие. Восьмая капля упала 28 ноября 2000 года, что позволило экспериментаторам подсчитать, что гудрон имеет вязкость примерно в 230 миллиардов раз больше, чем вода. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.



Рис. 20. Профессор Т. Парнелл с экспериментальной установкой

Таблица 1. Результаты эксперимента демонстрации текучести аморфного материала

Дата	Событие	<u>Продолж.</u> (месяцы)	<u>Продолж.</u> (годы)
1927	Начало эксперимента		
1930	Удаление заглушки с воронки		
Декабрь 1938	1-я капля	96-107	8,0-8,9
Февраль 1947	2-я капля	99	8,3
Апрель 1954	3-я капля	86	7,2
Май 1962	4-я капля	97	8,1
Август 1970	5-я капля	99	8,3
Апрель 1979	6-я капля	104	8,7
Июль 1988	7-я капля	111	9,3
28 ноября 2000	8-я капля	148	12,3
24 апреля 2014	9-я капля упала	156	13,4

Для большего понимания этого процесса относительно стекла необходимо ознакомиться основными взглядами на его внутреннее строение.

Стекло в его общем упрощённом понимании представляет собой смесь стеклообразующих оксидов кремния, бора, алюминия, фосфора, титана, цирконоия и др. (Si, B, Al, P, Ti, Zr) и модифицирующих оксидов металлов лития, калия, натрия, кальция, магния, свинца и др. (Li, K, Na, Ca, Mg, Pb).

Основным компонентом силикатного стекла, как понятно из названия, является оксид кремния (SiO_2). Его молекула представляет собой правильный тетраэдр, показанный на рис. 21.

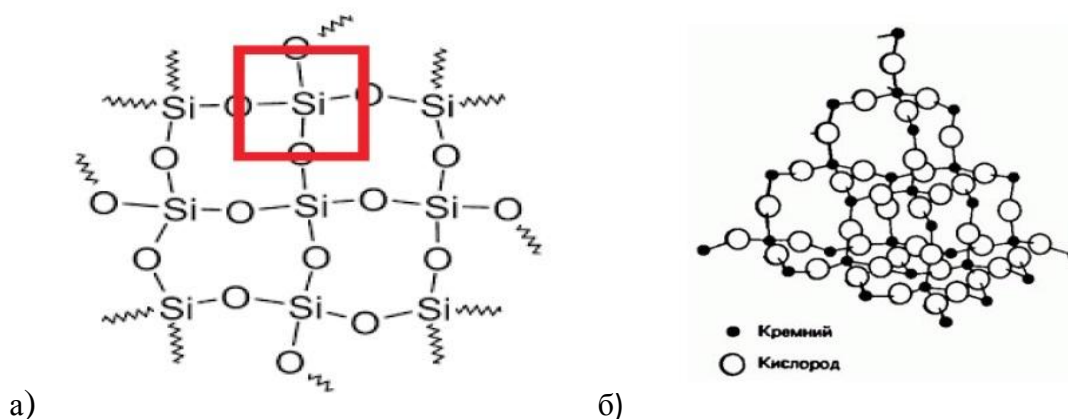


Рис. 21. Схематическое изображение взаимодействия SiO_2 в кварцевом стекле а) плоское б) объёмное

Стоит отметить, что кварцевое стекло, состоящее из одного оксида кремния, представляет собой скорее исключение из общего правила силикатных стёкол, так как состоит всего из одного компонента. Если рассматривать для упрощения восприятия объёмные тетраэдры в плоскости, то кварцевое стекло выглядит следующим образом (рис. 22).

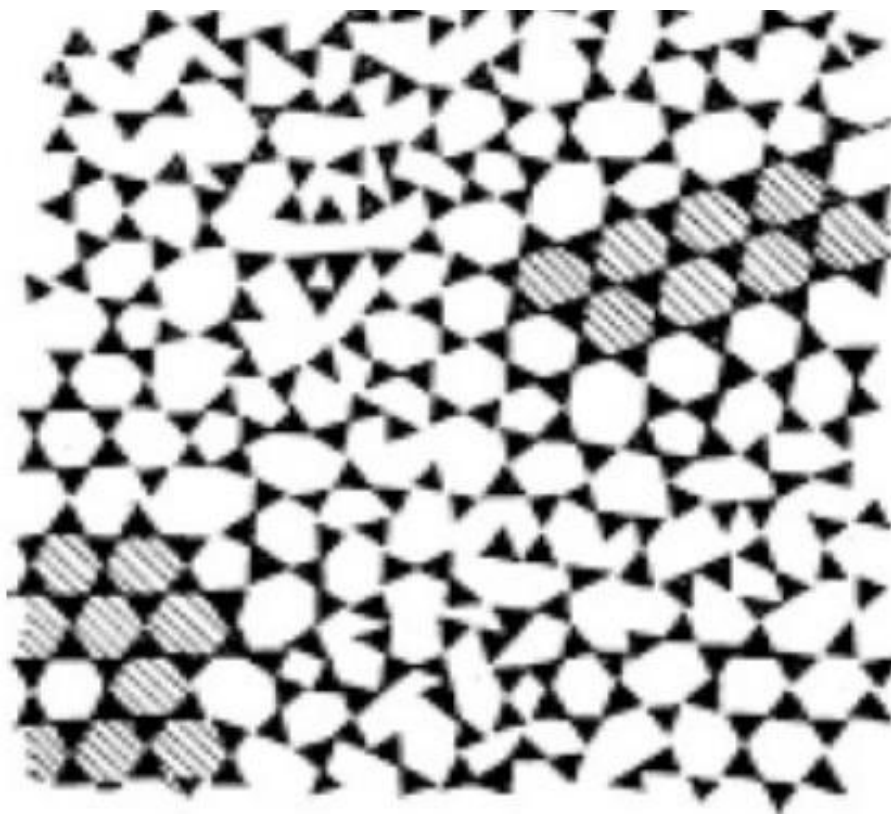


Рис. 22. Кварцевое стекло

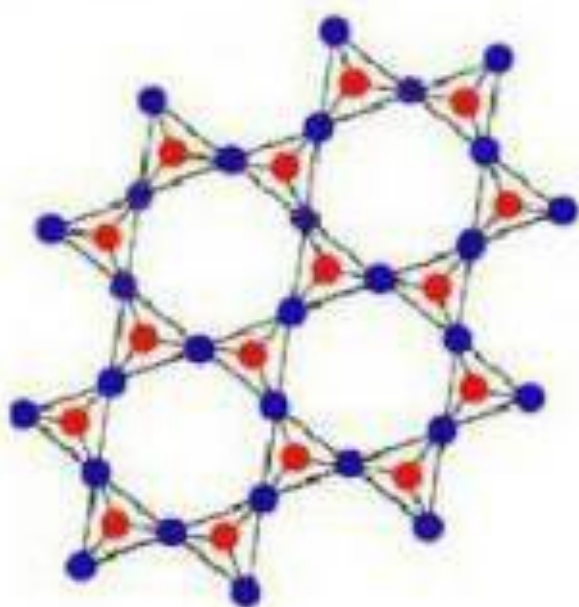
На рис. 22 видно, что часть тетраэдров упорядочена, а часть находится в хаотическом состоянии. Зоны порядка соответствуют кристаллическому состоянию вещества, а зоны неупорядоченности — аморфному состоянию.

Исходя из современных представлений состояния вещества, стоит отметить, что кристаллическое состояние более энергетически выгодно по сравнению с аморфным состоянием, но это энергетически выгодное состояние в кварцевом стекле может быть реализовано не всегда и определяется в первую очередь скоростью остывания расплава. Чем медленнее скорость остывания, тем больше времени требуется молекулам,

чтобы выстроиться в упорядоченную структуру. И наоборот — чем быстрее остывает расплав, тем меньше времени молекулам необходимо, чтобы скоординировать своё расположение относительно друг друга.

Исходя из этого факта, кварцевое стекло имеет две структуры. Природный кварц, время остывания которого из магматического расплава составляло миллионы лет, имеет кристаллическую структуру, а кварцевое стекло, полученное синтетическим способом, имеет в основном аморфную не упорядоченную структуру (рис. 23).

**Кристаллический SiO_2
(кварц)**



**Аморфный SiO_2
(стекло)**

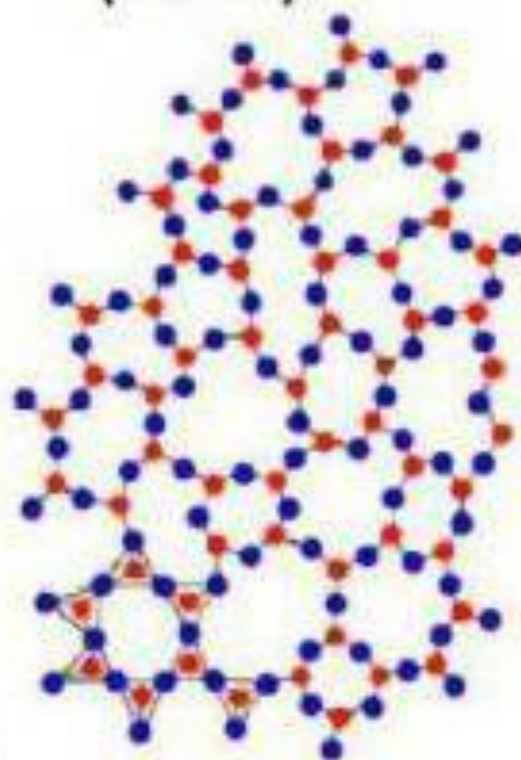


Рис. 23. Схематическое изображение кристаллического и аморфного состояния кварца

Если рассматривать в подобном ключе структуру стекла, содержащего несколько компонентов (а в некоторых стеклах их количество может достигать 10 и более), то приблизительная структура стекла будет выглядеть следующим образом, как показано на рис. 24.

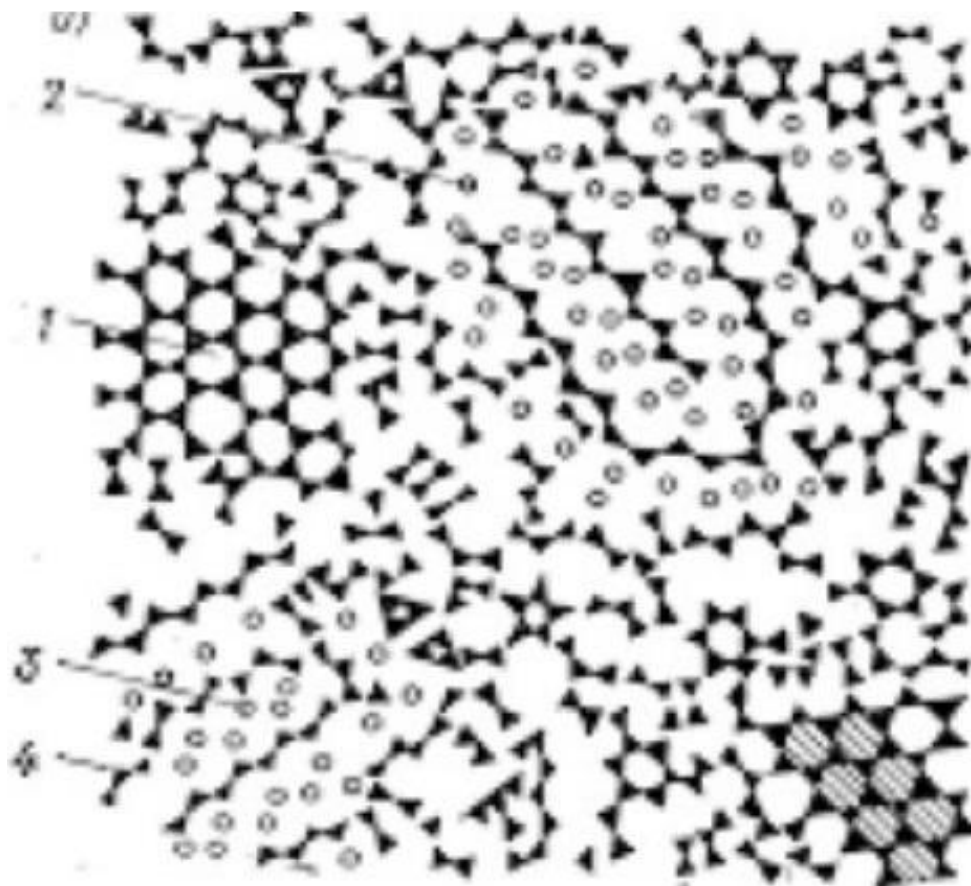


Рис. 24. Схематическое изображение стекла.
 1 — Плотная упаковка SiO_2 (кристаллическая фаза).
 2 и 3 — Атомы металлов, нарушающие структуру.
 4 — Рыхлая упаковка SiO_2 (аморфная фаза)

Как видно из представленной схемы, стекло как материал состоит из трёх уровней организации.

1. Молекулярный. Характеризует взаимодействие атомов между собой, с образованием разных групп атомов. Их сила взаимодействия зависит от того, с чем они контактируют.

2. Межмолекулярный «кластерный». Характеризует взаимодействие разных групп атомов и молекул. При этом видно, что взаимодействие молекул между собой различно. Группы, образующие однотипные связи (поз. 1 на рис. 24) имеют большую силу сцепления между собой, чем группы, образующих связи с другими типами атомов (поз 3 на рис. 24).

3. Макроуровень. Определяет форму стеклянного объекта.

Теперь рассмотрим те процессы, которые происходят при нагреве стекла. При нагреве, как известно, происходит передача тепловой энергии молекулам стекла. При этом колебательные движения атомов в структуре усиливаются, следовательно, взаимное сцепление ослабевает. А так как сила взаимодействия атомов между собой различная, то в первую очередь ослабевает взаимодействие различных типов атомов, находящихся в «рыхлых» аморфных зонах. И при определённой температуре, и при условии воздействия на стекло дополнительной силы (силы тяжести, давления, растяжения) происходит деформация макроуровня: стеклянный объект начинает деформироваться. Чем сильнее нагревается стеклянный объект, тем сильнее колебательные движения атомов, следовательно, тем сильнее происходит деформация на макроуровне.

Как уже отмечалось ранее, в состав стекла входят различные типы атомов и их взаимодействие между собой и с образованием различных надмолекулярных групп так же различно. Именно поэтому стекла и различаются по своим свойствам, определяемыми температурой.

Теперь на базе вышеизложенного попытаемся рассмотреть вязкость стекла. Как уже отмечалось, это свойство текучих тел оказывать внутреннее сопротивление перемещению групп молекул. Чем сильнее взаимодействие молекул между собой, тем больше вязкость стекла при одной и той же температуре. Сложную полноту картины дополняет ещё тот факт, что стекло содержит различные группы атомов, образующих дополнительную внутреннюю надмолекулярную «кластерную» структуру (рис. 24). Вязкость внутри этого кластера своя, следовательно, температуры для его деформации так же свои.

При вязком перемещении стекломассы, а именно такое наблюдается в результате процесса классического моллирования, стекло не течёт, а именно «фрагментарно» перемещается под действием внешней силы. В качестве «фрагментов» выступают кластеры и их группы, окружённые более аморфной фазой. Их размеры, а также скорость перемещения зависят от двух

параметров — состава стекла, определяющего кластерную структуру, и температуры, определяющей силу взаимодействия атомов между собой.

Моллирование (от лат. *mollis* — размягчаю, плавлю). Суть процесса заключается в доведении стекла методом нагрева до такого состояния вязкости, что молекулярные силы сцепления групп молекул — кластеров — ослабевают, и под действием внешних сил (силы тяжести, давления) происходят значительные деформационные изменения относительно исходной формы (куска стекла).

Для лучшего понимания вязкости необходимо ввести его единицы измерения, а также для сравнения дать некоторые данные по вязкости различных материалов. Как уже отмечалось, она характеризуется коэффициентом внутреннего трения и измеряется в пуазах (П). Например, вязкость воды при 20° равна 0,01 П, стекломассы при температуре варки 1500° равна 100 П, затвердевающего стекла — 100000 П.

Свойство стекломассы постепенно увеличивать вязкость с уменьшением температуры в отличие от большинства жидкостей и расплавов позволяет изготавливать изделия самыми различными способами и разных конфигураций. В начале выработки стекло пластично и может принять при определённом усилии любую форму; к концу выработки вязкость его увеличивается, и изделие затвердевает настолько, что оно способно сохранить форму при дальнейшей обработке и транспортировании.

Формование большинства изделий механизированными способами происходит при вязкости 10^3 – 10^8 П.

Вязкость стекломассы довольно высокая по сравнению с вязкостью других расплавов. При температуре варки 1480–1500° вязкость стекломассы составляет 10 П (у стали при 1400° — 0,00025 П, у воды при 20° — 0,001 П).

Как уже отмечалось, наибольшее влияние на вязкость стекла оказывает температура. По мере её снижения вязкость увеличивается и особенно резко при температурах ниже 800–900°. Так, при изменении температуры на каждые 10 С° в интервале 1500–1400° вязкость увеличивается в два раза, в

интервале снижения 1200–1000° вязкость увеличивается в 4–5 раз, а в интервале 600–500° вязкость увеличивается в двадцать раз.

Температурный интервал, в котором вязкость равна 10^3 – 10^8 П, называется областью рабочей вязкости стекла. В зависимости от скорости нарастания вязкости при понижении температуры различают «длинные» и «короткие» стёкла.

Вязкость стекла зависит также от химического состава стекла, но в меньшей степени, чем от температуры. Такие щелочные и щелочноземельные оксиды такие, как Li_2O , Na_2O , K_2O , BaO , а также PbO , как правило, понижают вязкость стекла при всех температурах, SiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 повышают её.

Чтобы не углубляться в химический состав стекла и влияние его на процессы вязкотекучего перемещения, мы будем рассматривать процессы объёмного моллирования только отдельных видов стёкол, выпускаемых промышленностью, и их состав примем как постоянную.

К ним отнесём:

1. Легкоплавкие Na–Ca (натрий-кальциевые) стёкла, к ним относятся стёкла, выпускаемые американской фирмой SPECTRUM и аналогичные им с коэффициентом термического расширения (КТР) не менее 96.

2. Свинец содержащие стекла — «Хрустали» с содержанием свинца от 12% до 24%. К ним в первую очередь относится «классический хрусталь», выпускавшийся ещё в СССР, а также «кинескопное» стекло.

3. Тарное стекло. Стекло бытовых бутылок.

4. Листовое стекло. Оконное стекло.

Рассмотрим основные этапы поведения стекла в процессе объёмного моллирования.

Температура, соответствующая вязкости. С	логарифм вязкости	Технологические процессы	
0 - 350	19	↓ Прогревание стекла ↓	↑ Остывание стекла ↑
	18		
	17		
	16		
	15		
350 - 600	13	↓	↑ Отжиг ↑
	12		
700 - 820	11	↓ Разогрев стекла ↓	↑ Стеклование ↑
	10		
	9		
	8		
	7		
820 - 950	6	↓ Спекание ↓	↑
	5		
	4		
		↑ Моллирование ↑	

Рис. 25. Схема термических процессов при моллировании стекла

Как видно из представленной схемы, процесс моллирования стекла — это многоступенчатый процесс. Он состоит из шести стадий. Рассмотрим каждую стадию в отдельности.

Первая стадия — прогрев стекла. Она представляет собой медленный подъём температуры в печи. Необходимость этой стадии обуславливается в первую очередь теплофизическими свойствами стекла, а именно его способностью проводить и поглощать тепло. Стекло достаточно плохо проводит тепло. Этот факт говорит о том, что при быстром нагреве верхние слои стекла нагреваются быстрее, чем внутренние, т. е. колебание атомов внешних слоёв происходит более активно, чем внутренних. Возникающие при этом внутренние напряжения в стекле могут привести к разрушению целостности стеклянной заготовки, приготовленной для моллирования, что в дальнейшем может сказаться на качестве моллируемого изделия. Визуально на стадии прогрева стекло не меняет форму, но в нем происходят крайне важные внутренние процессы.

Стадия прогрева стекла начинается при комнатной температуре и заканчивается при так называемой «верхней температуре отжига», что соотносится с вязкостью 10^{13} – 10^{12} П, стекло ещё слишком твердое для деформаций, но достаточно мягкое для снятия напряжений внутри стекла.

Длительность стадии прогрева стекла определяется в первую очередь размером заготовки для моллирования: чем больше заготовка, тем длительнее должен быть процесс прогрева стекла на первой стадии.

Эмпирически время для прогрева стекла может быть рассчитано по следующей формуле:

$$C = 0,3 / A^2 * dT$$

Где C — скорость прогрева стекла ($^{\circ}\text{C} / \text{мин}$)

A — половина толщины стеклянной заготовки (см)

dT — термостойкость стекла. 150°C для бессвинцовых стёкол и 100°C для свинецсодержащих стёкол (более точные данные приведены в приложении 2).

Время стадии прогрева определяется по формуле:

$$t = (T_k - T_n) / C$$

где t — время прогрева стекла ($^{\circ}\text{C}$)

C — скорость прогрева стекла ($^{\circ}\text{C} / \text{мин}$)

T_k — значение конечной температуры нагрева ($^{\circ}\text{C}$)

T_n — значение начальной температуры ($^{\circ}\text{C}$)

Время выдержки на верхней границе температуры отжига:

$$t_o = A + 10 * A^2$$

где t_o — время выдержки при заданной температуре (мин)

A — половина толщины изделия вместе с формой (см)

Пример расчёта прогрева стекла приведён в приложении 2.

В конечном этапе стадии прогрева стекла выдержка при максимальной температуре первой стадии. Она необходима, чтобы стеклянная заготовка прогрелась на заданную температуру по всей своей толщине.

В приложении 2 приведены характеристики различных стадий процесса моллирования для наиболее доступных стёкол.

Вторая стадия моллировная — это стадия разогрева стекла. Она начинается с точки температуры отжига и заканчивается температурой, при которой происходит моллирование. Скорость подъёма температуры на данном этапе не имеет принципиального значения и может быть увеличена по сравнению со стадией прогрева в четыре раза, так как основные теплофизические процессы, а именно энергетические барьеры, удерживавшие атомы в относительно неподвижном состоянии и создающие напряжение в стекле, уже пройдены.

Верхняя граница стадии разогрева стекла определяется в первую очередь типом моллируемого стекла и характеризуется рабочей вязкостью стекла в 10^5 П, а температура может варьироваться от 800 до 1000°, но для наиболее доступных стёкол эта граница составляет 820–950°.

С технологической же точки зрения верхняя граница стадии разогрева стекла определяется не только составом стекла, но формой моллируемого изделия, размером рельефа его поверхности, а также размерами литниковых отверстий. Во многом данные параметры определяются экспериментально и подбираются опытным путём.

На второй стадии моллирования стекло начинает деформироваться. Это происходит потому, что деформирующая сила — сила тяжести — начинает преобладать над внутренними силами сцепления атомов в стеклянной заготовке. Заготовка начинает терять форму и всё больше становится похожей на жидкость. Вязкость этой «жидкости» постепенно понижается, и стекло пытается заполнить предоставленный ему объём, а именно — моллируемую форму. Изменение формы идёт достаточно

медленно и определяется во многом всё той же теплоёмкостью материала, его объёмом, а также скоростью нагрева.

Часть этого процесса может быть выделена в самостоятельные стадии в зависимости от той степени деформации, которая необходима для конечного результата, и температурные интервалы стадии разогрева и моллирования стекла могут быть несколько другими и определяться вязкостными характеристиками используемого материала.

Так, для плоского моллирования стекла максимальная температура второй стадии может составлять $650\text{--}780^\circ$, а соответствующая вязкость стекла — 10^{10} П. Лист стекла при этом лишь незначительно меняет форму, повторяя её общие изгибы. Как правило, это используется для получения криволинейных стекол (витрин, плафонов и др.).

Другим интересным эффектом, проявляемым на стадии разогрева стекла, является процесс спекания стекла. Он начинается при уменьшении вязкости стекла до 10^9 П, т. е. при температурах выше 750° . Визуально процесс спекания для стекла SPECTRUM может быть представлен следующим образом (рис. 26 и 27).

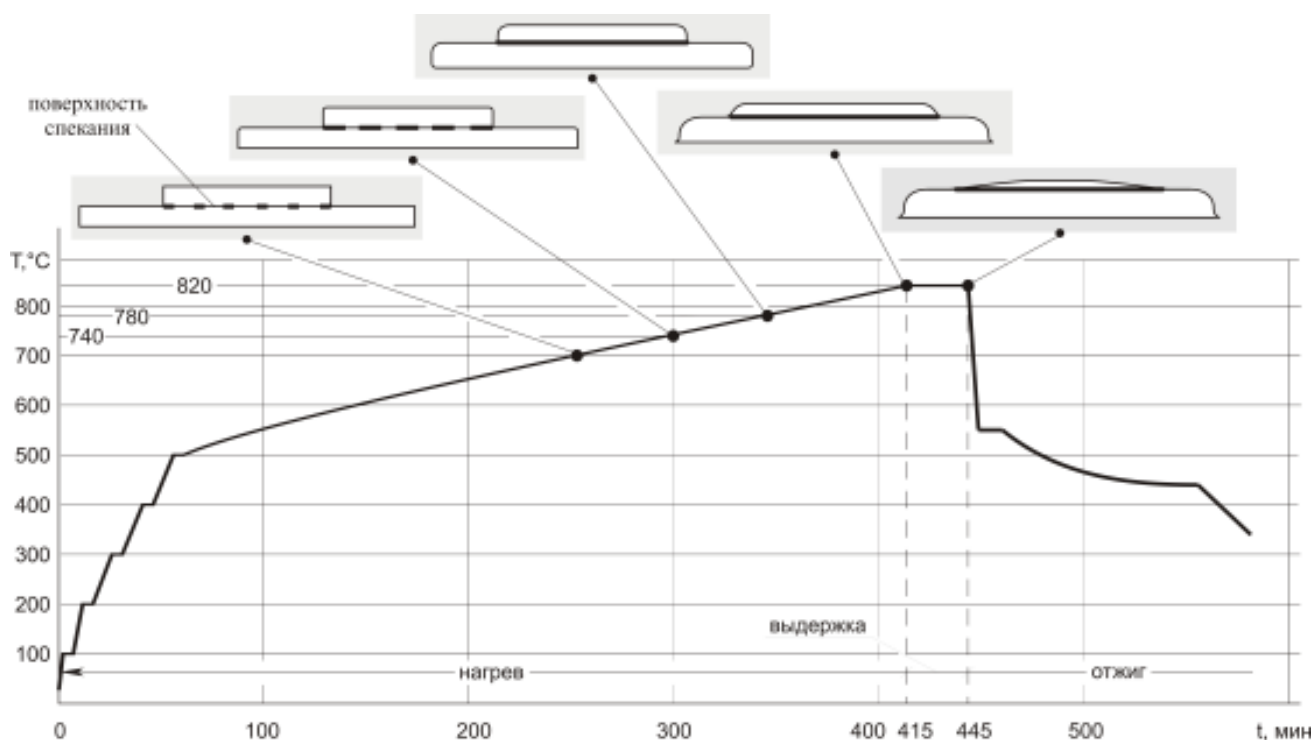


Рис. 26. Процесс спекания при изменении температуры. Этапы температурной деформации плоского стекла

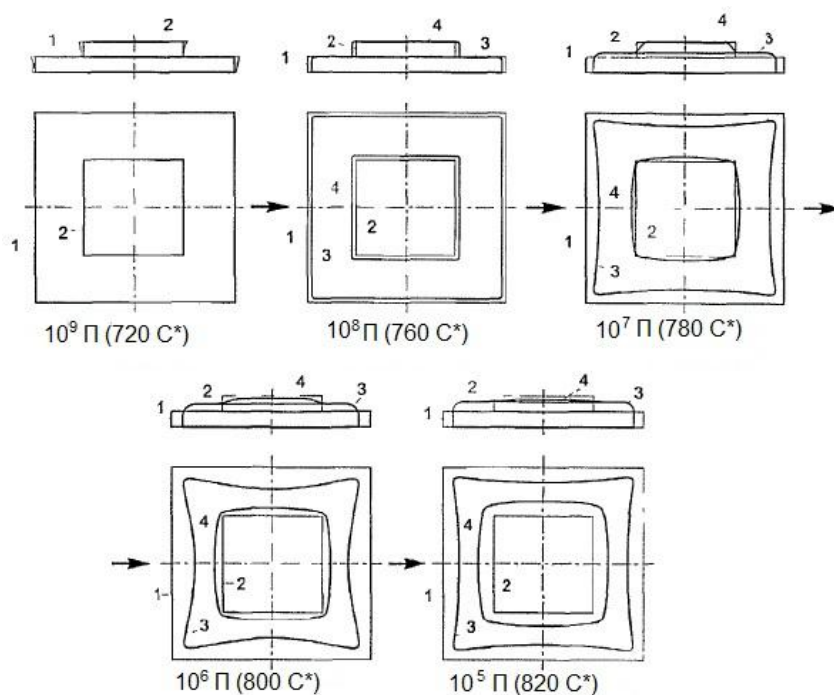


Рис. 27. Изменение формы пластинки стекла при снижении вязкости стекла в процессе повышении температуры. 1; 2 — исходные образцы, 3; 4 — деформированные

Как видно из представленных схем, в результате повышения температуры и снижения вязкости стекла происходит значительная деформация его образцов. Наложенные друг на друга стеклянные пластинки сначала припекаются друг к другу, а затем сплавляются в единый кусок. При этом размер, который изначально увеличивался, в дальнейшем начинает уменьшаться со значительной потерей геометрии.

Надо сказать, что процесс художественного спекания материала — это управляемый процесс, т. е. его деформационные характеристики в любой момент могут быть остановлены, а необходимая рельефность рисунка панно сохранена.

Окончание стадии спекания стекла как самостоятельного процесса определяется исходя из визуальных и эстетических требований мастера, а его длительность определяется типом выбранного стекла и температурой спекания.

Третьей стадией классического объёмного моллирования является непосредственно сам процесс моллирования, т. е. процесс заполнения формы

стеклом. Частично этот процесс начинается на стадии разогрева стекла, но основной процесс заполнения формы с «прочиткой» рельефа происходит именно на третьей стадии.

Эта стадия характеризуется минимальной вязкостью стекла и максимальной температурой моллирования. Главным требованием к стекломассе на третьем этапе моллирования является достижение ею вязкости порядка 10^5 П, что соответствует нагреву до 820–950°.

Соотношение этих двух параметров (вязкость и температура) определяется составом используемого стекла (в приложении 2 приведены технические характеристики процесса моллирования наиболее доступных стёкол).

Ещё одним параметром, характеризующим третью стадию объёмного моллирования стекла, является время. Определяющими временного интервала процесса моллирования на стадии максимальных температур являются технологические особенности формы.

К ним можно отнести:

1. Объём моллируемого изделия.
2. Детализовку поверхности формы.
3. Особенности строения отверстий литника формы.

Именно третья стадия и определяет в основном время. В технологической части описания процесса будут рассмотрены основные виды литников форм, используемые при моллировании, в данном же разделе можно сказать, что чем меньше отверстие, разделяющее литник и форму, тем процесс выдержки на максимальной температуре должен быть более длительным, либо температура выдержки должна быть выше. Данное соотношение может быть подобрано только экспериментально. Для наглядности восприятия этого процесса на рис. 28 приведён схематический пример скорости заполнения вязкотекучей жидкостью одинаковых объёмов при одной и той же температуре и времени, но с различными литниковыми отверстиями.



Рис. 28. Схема скорости заполнения объёмов вязкотекучей жидкости в зависимости от диаметра отверстия истечения

Точно зафиксировать необходимое время для заполнения формы достаточно сложно. Оно подбирается в результате экспериментов. Можно сказать, что при качественно сделанной форме и правильно подобранных температурных параметрах моллирования увеличение длительности третьей стадии моллирования не наносит вреда для качества самого изделия, но гарантирует заполнение.

После окончания заполнения формы расплавом стекла начинается четвёртая стадия процесса моллирования — стеклование. Другими словами, это остывание стекла до определённой температуры — температуры отжига стекла. На этой стадии определяющей является не столько скорость, сколько равномерность остывания стекла и формы. При этом вязкость стекла увеличивается с 10^5 до 10^{12} П. Другими словами, в десять миллионов раз.

Длительность процесса стеклования определяется не столько техническими параметрами стекла, сколько технологическими: массой формы и заполненного стекла, количеством форм, теплоизоляцией печи. Как правило, остывание происходит инерционно, при выключенных нагревателях, а контрольным параметром является лишь конечная температура.

При достижении верхней температуры отжига начинается пятый этап моллирования стекла — отжиг стеклоизделий. Он начинается с фиксации

верхней температуры отжига и выравнивания её по всему объёму стеклоизделия. Вязкость стекла на данном этапе составляет порядка 10^{12} П, а температура в зависимости от типа стекла — от 560° до 480° , но даже при таком кардинальном увеличении вязкости подвижность атомов в стекле ещё остаётся достаточной.

Как уже отмечалось ранее, стекло имеет достаточно плохую теплопроводность. Кроме того, оно находится в форме, которая также имеет низкую теплопроводность. Именно поэтому требуется длительная выдержка на верхней границе отжига стекла. Длительность этой выдержки зависит как от типа стекла, так и от технологических параметров формы. На этом этапе снимается основное количество напряжений в стекле

После выравнивания температуры по всему объёму стеклоизделия начинается одна из наиболее ответственных стадий процесса — отжиг стеклоизделия. На данном этапе не происходит никаких видимых изменений с изделием, и возможно поэтому к данному процессу мастера подходят не совсем грамотно. Одной из основных ошибок, допускаемых на этом этапе, является то мнение, что чем дольше печь стоит закрытая, тем это лучше для отжига стекла. На самом деле это не совсем правильно.

Отжиг состоит из четырёх этапов:

1. Остывание стекла до высшей температуры отжига, которая на $20\text{--}50^\circ$ выше температуры стеклования.
2. Выдержка при высшей температуре отжига (для равномерного распределения температуры по всему объёму). При непрерывном производстве листового стекла данная стадия отсутствует.
3. Ответственное медленное охлаждение от высшей температуры отжига к низшей (самая ответственная стадия, т. к. при быстром охлаждении напряжения могут вернуться).
4. Инерционное (свободное) охлаждение.

Вязкостные характеристики стекла на этом этапе уже не играют видимой роли, и стекло приобретает свойства твёрдых тел. Но процессы,

происходящие внутри стекла, имеют очень важное значение. Именно на этом этапе происходит возможное образование термических напряжений, влияющих на эксплуатацию изделия в дальнейшем.

Попытаемся разобраться с этими этапами по порядку. Непосредственно самим отжигом стеклоизделий называется процесс выдержки стеклоизделия в высшей точке отжига и плавное снижение её до низшей точки отжига. Разность между этими температурами для большинства стёкол составляет 100–150°. Так, если для стекла фирмы SPECTRUM верхняя граница отжига составляет 520°, то соответствующая нижняя граница составляет 370°. Именно на этом этапе важна плавность снижения температуры.

Следующим этапом является выдержка изделия в форме при нижней границе отжига. Она необходима в первую очередь для выравнивания температуры стеклоизделия по толщине из-за низкой теплопроводности стекла.

Последним этапом моллирования, является процесс остывания формы со стеклом. Это не значит, что после достижения нижней температуры отжига форму со стеклом можно вынимать из печи. Процесс остывания значит, что скорость остывания может быть значительно увеличена по сравнению со скоростью отжига стекла в 6–8 раз.

Конечная температура, при которой форма может быть вынута из печи, не должна превышать 50–60 °С. При этом надо также понимать, что наружная температура формы и стекло, находящееся внутри, могут иметь разницу в 50 °С.

Стадия отжига стекла может быть эмпирически рассчитана по следующими формулами:

время выдержки на верхней границе температуры отжига:

$$t_0 = A + 10 * A^2$$

где t_0 — время выдержки при заданной температуре (мин)

A — половина толщины изделия вместе с формой (см).

Скорость снижения температуры отжига с верхней до нижней границы отжига изделия в форме можно определить по формуле:

$$C_1 = 0,075 / A^2 * dT$$

Где C_1 — скорость снижения на этапе отжига ($^{\circ}\text{C} / \text{мин}$)

A — половина толщины изделия вместе с формой (см)

dT — термостойкость стекла (150°C для бессвинцовых стёкол и 100°C для свинецсодержащих стекол).

Время стадии отжига определяется по формуле:

$$t_1 = (T_{\text{в}} - T_{\text{н}}) / C_1$$

где t_1 — время снижения температуры ($^{\circ}\text{C}$)

C_1 — скорость снижения на этапе отжига ($^{\circ}\text{C} / \text{мин}$)

$T_{\text{в}}$ — значение верхней температуры отжига ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{\text{н}}$ — значение нижней температуры отжига ($^{\circ}\text{C}$).

Время выдержки на нижней границе температуры отжига:

$$t_2 = A + A^2$$

где T — время выдержки при нижней температуре (мин).

A — половина толщины изделия вместе с формой (см).

Скорость снижения температуры остывания изделия в форме можно определить по формуле:

$$C_3 = 0,5 / A^2 * dT$$

Где C_3 — скорость снижения при остывании ($^{\circ}\text{C} / \text{мин}$)

A — половина толщины изделия вместе с формой (см)

dT — термостойкость стекла (150°C для бессвинцовых стёкол и 100°C для свинецсодержащих стёкол).

Время стадии отжига определяется по формуле:

$$t_3 = (T_{\text{н}} - T_{\text{к}}) / C_3$$

где t_3 — время снижения температуры ($^{\circ}\text{C}$)
 C_3 — скорость снижения при остывании ($^{\circ}\text{C} / \text{мин}$)
 T_k — конечная температура остывания ($^{\circ}\text{C}$)
 T_n — значение нижней температуры отжига ($^{\circ}\text{C}$).

В приложении 2 приведены примеры расчёта стадии отжига стекла.

Данная методика расчёта приведена для определения времени отжига стеклоизделий для объёмных замкнутых форм и может упрощаться для моллирования изделий в открытые формы (моллирование изразцов).

Для визуализации процесса отжига стоит привести изображение неотожжённого, имеющего напряжения изделия из стекла (рис. 29).



Рис. 29. Фотография стеклянного плохо отожжённого объекта в поляризованном и не поляризованном проходящем освещении

На рис. 29 видно, что в поляризованном освещении видны цветные полосы, представляющие собой напряжения, возникшие при отжиге стеклоизделия. Наличие таких полос говорит о том, что в изделии существуют термические напряжения, невидимые при естественном освещении, но которые могут со временем привести к разрушению изделия.

Процесс объёмного моллирования стеклоизделия в закрытую форму может быть представлен следующим графиком:

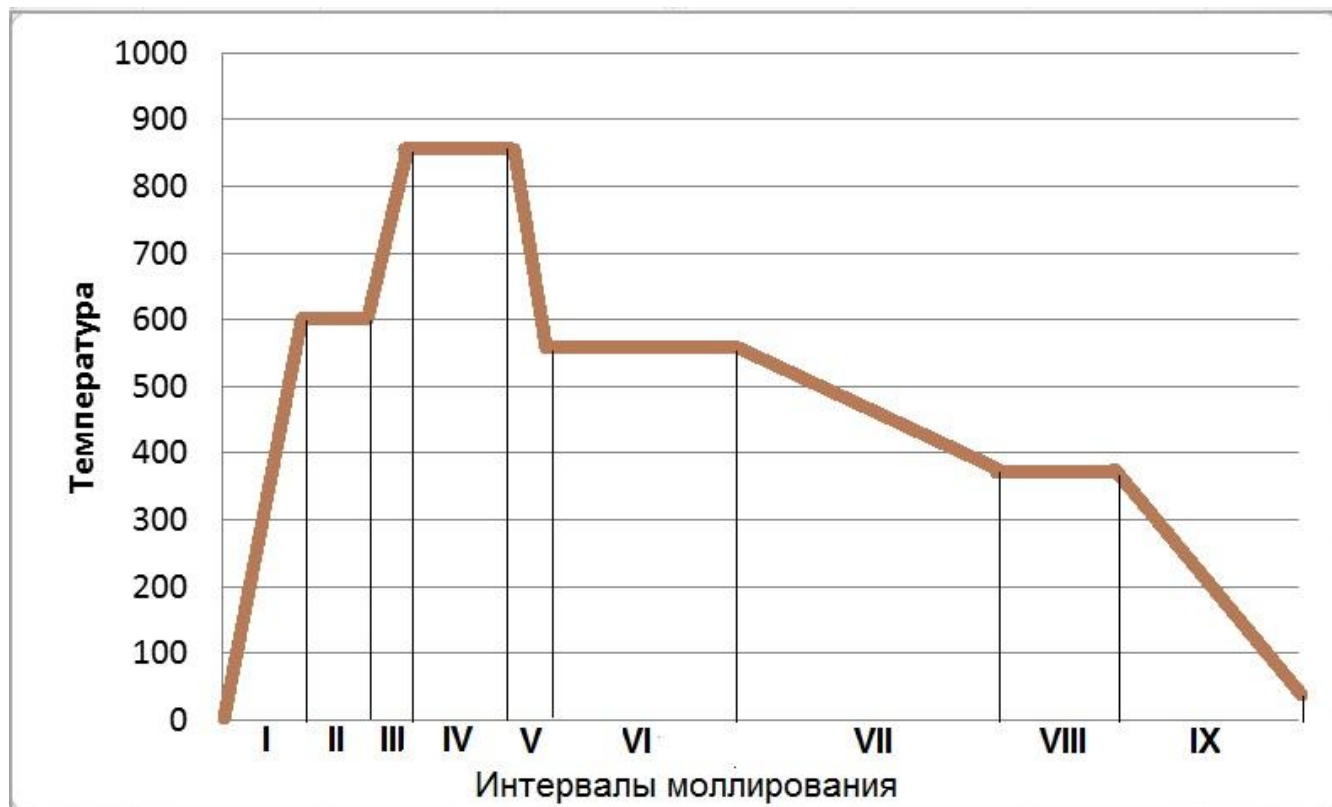


Рис. 30. Классический график объёмного моллирования стекла в форму

4. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЁМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ТЕХНИКЕ КЛАССИЧЕСКОГО ОБЪЁМНОГО МОЛЛИРОВАНИЯ

Технология объёмного моллирования имеет очень большую историю. Конечный результат во многом обуславливался уровнем развития технологических приёмов, доступностью материаловедческой базы, а также теми, кто потреблял конечный продукт. Так, в Древнем Египте изделия из стекла, сделанные в технике пластической деформации (моллирование, спекание) имели в основном культовое значение и были доступны лишь избранным.

С возникновением и развитием новых технологий, удовлетворяющих те или потребности цивилизаций, многие другие технологии забывались либо останавливались в развитии. К технологии пластической деформации стекла (моллированию) это относится в первую очередь. Возникшая в начале нашей эры технология выдувания стекла на многие столетия стала приоритетной, так как удовлетворяла практически все потребности общества относительно способов обработки стекла. При этом наблюдалась зависимость технологической и эстетической сторон развития. Этот процесс был объективен и связан в первую очередь с большим потенциалом развития техники выдувания стекла.

К концу XIX века техника выдувания как способ художественной обработки стекла подошла к своему апогею, но эстетические потребности цивилизации не стояли на месте. Кроме того, за прошедшие столетия вопросы материаловедения, а также многие вопросы технологического характера были значительно усовершенствованы: решены проблемы контроля температуры, многие необходимые материалы для процессов стали выпускаться в промышленном масштабе.

Именно это стечение обстоятельств и привело к возрождению таких древних технологий обработки стекла, как объёмное моллирование и спекание, но на технологически более высоком уровне.

Развитие и совершенствование процессов моллирования в XX веке шло по разным направлениям. Европейская школа моллирования шла методами наработки различных приёмов, разработки и внедрения новых материалов (в первую очередь специальных типов стёкол для моллирования). Школа базируется в первую очередь на отдельных мастерах и небольших предприятиях, которые нарабатывают свои «секреты». Общие же приёмы моллирования и спекания достаточно хорошо отражены в иностранной литературе и современном интернет-пространстве.

Советская же школа моллирования развивалась несколько другим путём. Заранее формируясь под крупные заводы, технология развивалась такими корифеями стеклоделия, как Н. Н. Качалов и В. В. Варгин. Разработанные ими способы и приёмы позволяли изготавливать изделия весом до 100 кг и более. И главным отличительным признаком их технологии была возможность использования «догрузки» стекла в литниковую чашу приготовленной непосредственно у печи заготовки, имеющей температуру, близкую к температуре моллирования в 700–750°. Этот способ позволял при относительно небольшой литниковой чаше изготавливать массивные изделия и значительно сокращать время моллирования. При этом сохранялось высокое качество моллируемого изделия.

Однако данная технология в виду небольшого разнообразия художественных стекол эффективно могла работать только на крупных предприятиях. При моллировании с «холодной заготовки» зачастую проявлялась склонность стекла к кристаллизации, что было не удовлетворительным. Специальных стёкол, способных без ущерба качеству подвергаться многократным нагревам, в Советском Союзе массово не производились.

Классическая технология моллирования с подробным описанием технологического процесса, характерного для советской школы моллирования, подробно изложена в книге Ю. П. Сергеева «Выполнение художественных изделий из стекла». Она специализировалась под моллирование объёмных и монументальных изделий без мелкой детализации. В первую очередь это было связано с качеством тех материалов, которые применялись для изготовления форм. Именно по этой технологии и из этих материалов были изготовлены работы В. И. Мухиной в технике классического моллирования.

После развала СССР советская школа моллирования не претерпела особых изменений, несмотря на тот факт, что зарубежные технологии моллирования стали более доступны. С середины 80-х годов не появилось ни одной публикации или учебного пособия, развивающего технику моллирования. Прямое же перенимание западных приёмов моллирования и спекания стекла приводило, как правило, к упрощению процесса без его развития опять же из-за ограниченности ресурсной базы и наставнического опыта. Хотя в последнее время возникают исследовательские работы, связанные со спеканием стекла в области эстетики и технического дизайна, но их количество крайне незначительно, и они носят эпизодический характер.

В данном разделе мы попытаемся сделать акцент на технологических особенностях процесса — от подбора материалов и до особенностей заполнения стеклом сложных форм для моллирования.

Несмотря на многие века совершенствования технологического процесса объёмного моллирования, его суть не изменилась. Она состоит из следующих этапов:

1. Изготовление протомодели изделия.
2. Изготовление формы для восковой модели.
3. Отливка восковой модели.

4. Установка литниковой системы моллирования и системы воздушных выпаров.
5. Подготовка состава для моллирования.
6. Заливка формы для моллирования.
7. Вытапливание восковой модели.
8. Сушка и прожиг формы.
9. Моллирование.
10. Холодная обработка изделия.

Современные способы моделирования крайне разнообразны. Моделирование, являясь одним из способов познания мира, является также творческим процессом и может быть выражено следующей схемой (рис. 31).



Рис. 31. Схема изготовления модели в процессе моделирования

Непосредственно способы изготовления модели могут быть различны. Это могут быть и ручная лепка модели, и доработка имеющейся протомодели (например, природного объекта), и компьютерное моделирование. Под словом «протомодель» мы будем понимать прототип модели, т. е. её первоначальную версию, которая может быть представлена в различном материале.

Создание протомодели зависит от умения и навыков человека. Особое предпочтение тут выделить сложно. Отдельно стоит отметить наиболее современный способ моделирования — компьютерное моделирование. Создание моделей при помощи программного обеспечения требует определённых знаний и навыков работы с графическими программами.

Наиболее удобным программным обеспечением для обработки протомodelей являются программы ZBrush и Mudbox, отличительной особенностью которых является то, что их интерфейс «заточен» под процессы «лепки» в реальном времени. Их отличительная работа с полигональными моделями делает их наиболее удобными для творческого процесса модификации протомodelей.

Воплощение компьютерной протомodelи в материал также может быть различным. Наиболее распространённым методом является печать с использованием 3D принтеров, но возможно использование и таких 3D инструментов, как, например, многокоординатные фрезерные станки, а также станки лазерной резки и гравировки.

На рис. 32. представлены протомodelи кистей рук, изготовленные различными способами.

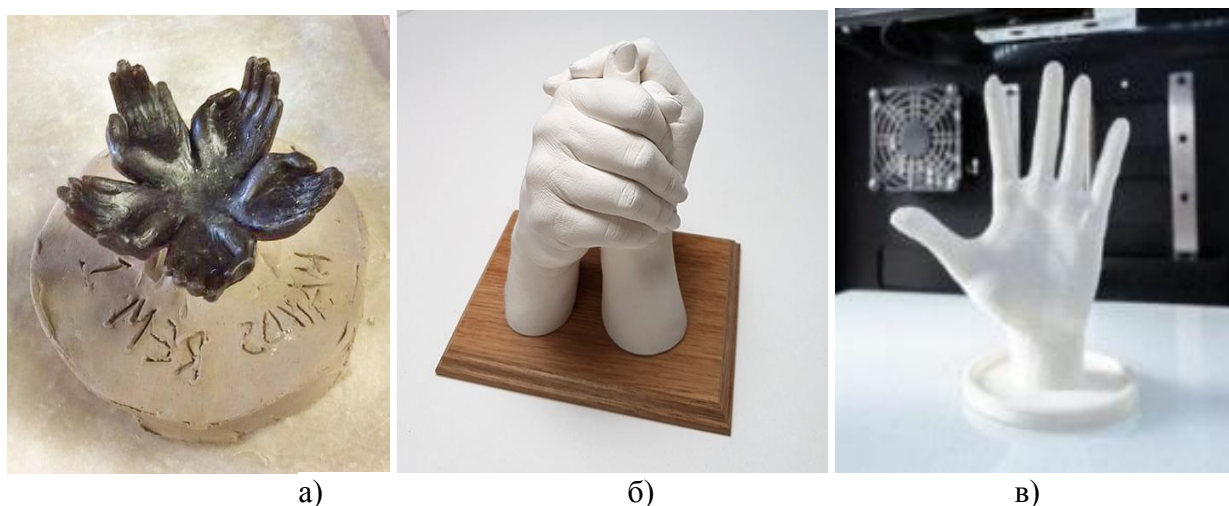


Рис. 32. Протомodelи кистей рук, изготовленные различными способами
а) ручная лепка формы из воска
б) снятие формы с готового объекта методом копирования
в) 3D печать модели с использованием принтера

Особое внимание при создании протомodelи следует уделить не только качеству поверхности модели, так как современная технология моллирования предусматривает копирование мельчайших деталей рельефа, включая все заложенные в модель недостатки, но и наличие у модели литниковой

поверхности, т. е. плоскости, через которую будет поступать расплавленная стекломасса и соответственно заполнять форму.

Модели могут делиться на плоские и объёмные. К первому типу относятся всевозможные рельефные и барельефные модели, объединяемые общей открытой базовой плоскостью. Ко второму типу относятся модели, не имеющие этой плоскости или имеющие небольшую базовую поверхность.

Это особо относится к сложным для моллирования моделям, имеющим выступающие и разнотолщинные части. Также это относится к так называемым моделям «на ножках», имеющим различные перепады в диаметрах форм.

На рис. 33 приведён пример сложной для классического моллирования модели, которая требует дополнительных литниковых элементов, воздушных выпаров формы и более сложной дальнейшей холодной обработки готового изделия.



Рис. 33. Сложная для классического моллирования модель

После окончательного создания протомодели приступаем ко второй части процесса — к созданию восковой «утрачиваемой» модели. Название

«утрачиваемая» связано с тем, что восковая модель в дальнейшем вытапливается из формы.

Существует классический способ изготовления многочастных форм из гипса, он хорошо описан в упомянутой выше книге Ю. П. Сергеева. Технологический процесс данного способа изготовления форм для восковых моделей соответствовал уровню развития материаловедения своего времени и имел много недостатков. Он относительно удобен для снятия крупных и простых форм, но в итоге отливаемая в такую форму восковая модель требовала значительных доработок.

К недостаткам же этого способа стоит отнести в первую очередь то, что он многодельный.

С развитием материаловедения и с появлением новых технологичных материалов возникли новые способы формования моделей. В первую очередь стоит остановиться на эластичных резиноподобных полимерах — компаундах. В современной литературе и интернете существует много названий этих материалов, всё зависит от того, из чего состоит этот компаунд. Их могут называть силикон, формопласт, жидкая резина, висксинт, эластомер, но суть их остается одна. Это двухкомпонентный материал, состоящий из полимера и отвердителя, при смешении которых происходит химическая реакция сшивания макромолекул с образованием пластичного материала. Надо отметить, что этот процесс необратимый, и образовавшийся материал не может быть переведён обратно в жидкое состояние. Иногда в компаунд добавляются пластификаторы — вещества, меняющие вязкость полимера, улучшающие его эксплуатационные свойства, а также красители.

Если исходить из того, какой компаунд лучше выбрать, то ориентировку стоит делать на такой параметр, как твёрдость конечного полимера, определяемая методом вдавливания. Наиболее плотные полимеры с плотностью по шкале Шора типа А имеют параметр 60, они хорошо пригодны для изготовления открытых форм без замков. Как правило, это

материалы, способные выдерживать температуры до 280°, в которые можно отливать легкоплавкие металлы, например, олово и его сплавы.

Для более сложных моделей, имеющих такую сложную конфигурацию, как, например, на рис. 33, используются более мягкие компаунды с твёрдостью по Шору (А), равной 30 и менее. Самым мягким из доступных компаундов является материал с мягкостью 10 по Шору (А). Параметры твёрдости компаунда, как правило, указаны на упаковке. Другим немаловажным параметром компаунда является его «время жизни», т. е. то время между началом работы и тем моментом, когда его нарастающая вязкость начинает мешать работе. Третьим важным параметром компаунда является его время полимеризации — то время, за которое полимер становится густым и приобретает свои прочностные качества. В зависимости от типа компаунда это время может составлять от 2-х до 24-х часов.

Стоит также сказать и о таком свойстве компаунда, как усадка. Это уменьшение конечных размеров формы относительно снимаемой модели. Как правило, усадка формы не составляет более 2-х процентов от первоначального объёма. Усадочную поправку стоит вносить в те модели, размеры которых строго определены. Процент усадки, время полимеризации и твёрдость компаунда указаны в инструкциях по применению того или иного полимерного материала.

Преимущества использования компаундов в изготовлении форм:

1. Простота использования.
2. Технологичность в применении.
3. Способность к копированию мельчайших деталей.

Рассмотрим практическую сторону изготовления формы. Возьмём наиболее простой и наиболее применяемый способ изготовления формы методом заливки. Он позволяет получать формы без дополнительных элементов, но при изготовлении больших форм достаточно материалоемок.

Стадии изготовления формы для восковых моделей.

1. Установка модели на площадке.

2. Смазывание модели разделительным составом (при необходимости).

3. Установка ограничительных бортиков для заливки компаунда.

4. Взвешивание и смешивание компонентов компаунда.

5. Вакуумизация смеси.

6. Заливка вакуумированной смеси.

7. Отверждение смеси.

8. Разборка формы и извлечение протомодели.

Модель на площадке устанавливают таким образом, чтобы было максимально удобно в дальнейшем заливать воск. Модель необходимо каким-то образом закрепить на площадке, например, термоклеем или другим способом, как показано на рис. 34 (а). При изготовлении двухчастных форм часть модели может быть утоплена в пластическом материале с установкой совмещающих замков формы, как показано на рис. 34 (б).

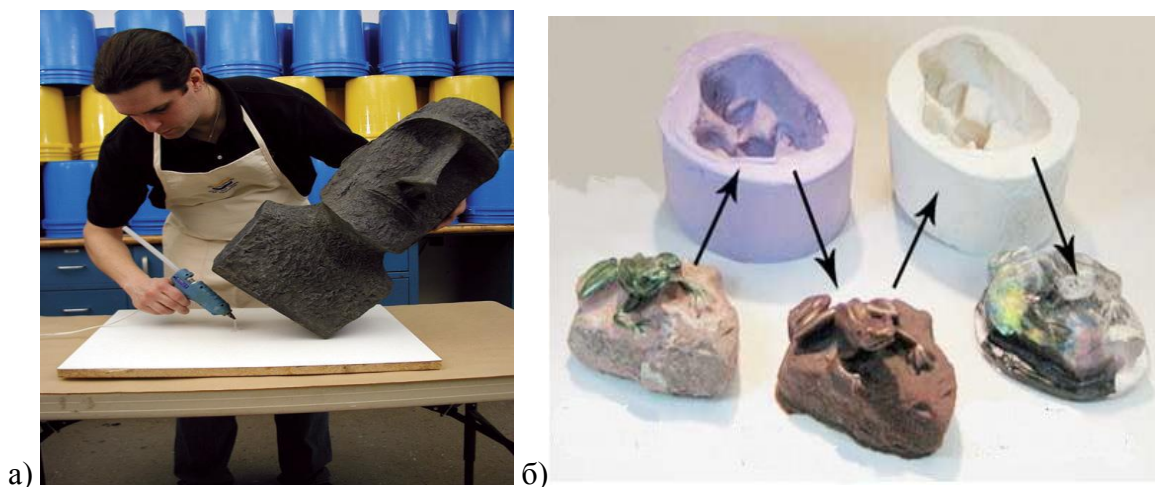


Рис. 34. Способ закрепления модели а) на площадке термоклеем
б) с использованием пластического материала

При необходимости модель смазывается разделительным составом. Как правило, в него входит диспергированный воск, при нанесении которого на поверхности возникает защитная восковая пленка, не позволяющая прилипнуть компаунду к модели. Эта необходимость возникает не всегда, а только при использовании определённого типа компаундов (особенно с платиносодержащим отвердителем). Стоит также отметить, что многие

резиноподобные материалы ингибируются влагой. Ингибируются означает, что процесс отверждения материала значительно замедляется или вовсе останавливается. Это замедление могут вызывать и некоторые компоненты, из которых состоит модель. В особенности это относится к серосодержащим глинам и некоторым типам пластилина. Для избегания этих нежелательных процессов и рекомендуется нанесение восковых промежуточных слоёв, как показано на рис. 35.



Рис. 35. Нанесение воскового разделительного слоя на модель

Для нанесения жидкой полимерной массы необходимо установить ограждение в виде бортика вокруг установленной модели для заполнения её компаундом. Материал и форма обечайки не имеет значение. Он определяет лишь наружные размеры формы, как показано на рис. 36. Стоит отметить, тот факт, что данный способ изготовления формы методом заливки говорит о том, что компаунд сам является конструкционным материалом. И очень тонкие элементы могут деформироваться при заливке воска. Это также зависит от твёрдости выбранного материала.



Рис. 36. Установка ограничительных бортиков вокруг модели

Следующим этапом изготовления формы является непосредственно приготовление компаунда. Оно состоит из смешения компонентов и их вакуумирования. Следует понимать, что так как компаунд является двухкомпонентным материалом, то он смешивается пропорционально. Разные производители и разные виды материалов предлагают различные пропорции. Важно отметить тот факт, что есть компаунды, которые смешиваются по весу: Super Mold, Эластоформ, Алькорсил, Tool Decor, Силифлекс 20 и есть смешиваемые по объёму — Mold Max, Ecoflex. Кроме того, есть и универсальные компаунды, где одинаковые пропорции по весу и по объёму. Это указывается в инструкции по применению, прилагаемой к материалу.

Компоненты смешиваются в заданных пропорциях и перемешиваются, как показано на рис. 37.

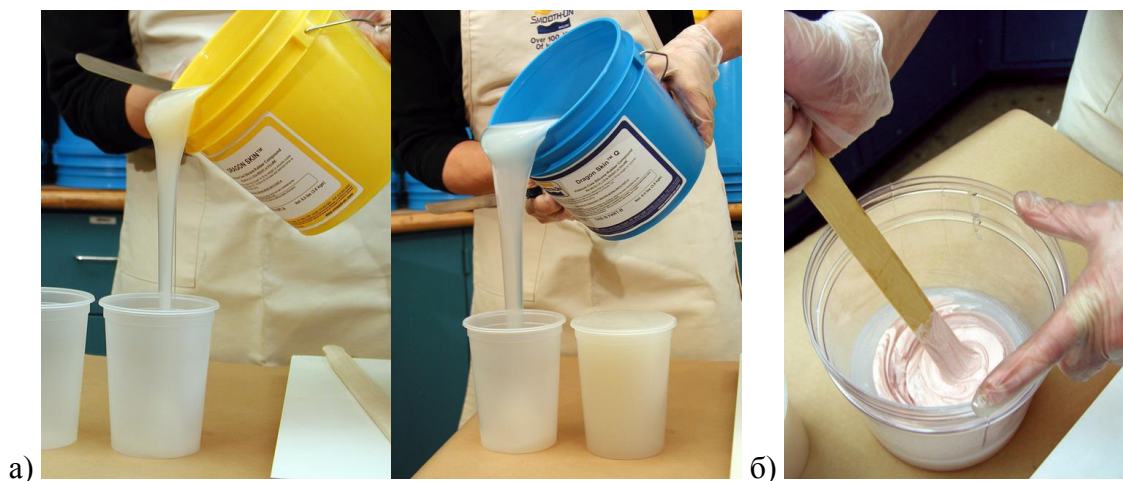


Рис. 37. Смешение и перемешивание компонентов компаунда

Как правило, разные компоненты имеют разный цвет для визуального контроля процесса перемешивания. Равномерность перемешивания смеси крайне важна, так как от этого на прямую зависит качество формы.

Следующим этапом подготовки массы является её вакуумирование. Процесс вакуумирования — это процесс удаления воздушных пузырей и растворённых газов из смеси. Он осуществляется в специальных камерах, из которых при помощи вакуумного насоса удаляется воздух. Из находящейся в камере смеси выделяются растворённые газы. В результате этого процесса получается дегазифицированная смесь.

Процесс дегазации и сама камера показаны на рис. 38.

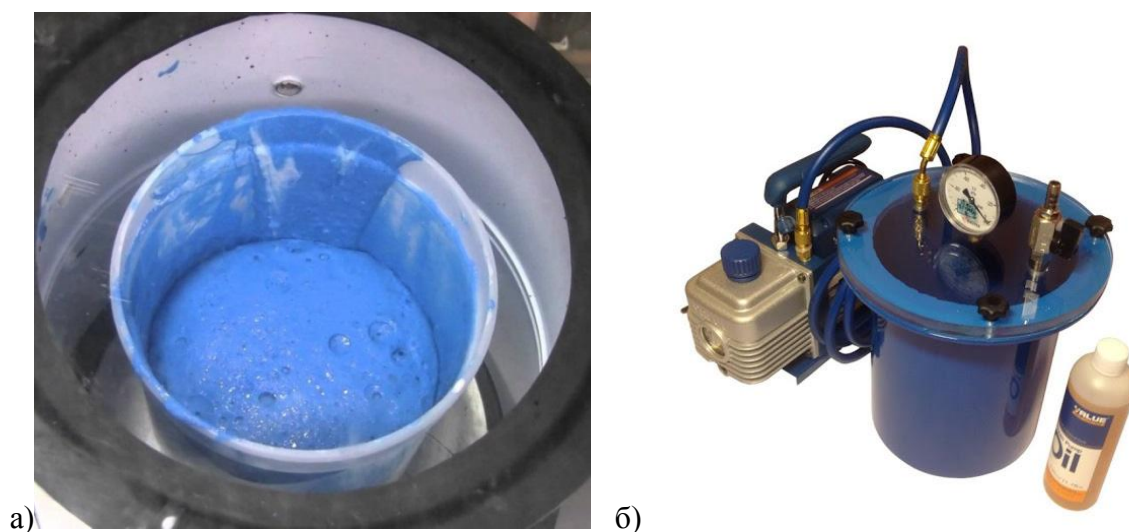


Рис. 38. а) процесс дегазации компаунда на стадии газовыделения
б) вакуумная камера в сборе

На рис. 39 приведены примеры отлитых форм из компаунда с применением вакуумизации и без.



Рис. 39. Примеры качества формы с вакуумированием массы и без

Как видно на рис. 39, имеющиеся во втором случае пузыри заметно ухудшают качество формы.

После вакуумизации масса аккуратной струей заливается в обечайку с формой.



Рис. 40. Заливка модели вакуумированной массой

После заливки форма оставляется в покое до момента полной полимеризации массы. Как уже отмечалось, этот период может длиться от 2-х до 24-х часов. По истечении этого срока форма вынимается из опоки, разрезается и из неё извлекается модель.



Рис. 41. Извлечение модели из формы

Достоинством данного способа является то, что он достаточно прост и не требует особых навыков для качественного получения формы. Кроме того, форма имеет минимум швов, что значительно улучшает качество восковки. Среди недостатков способа в первую очередь стоит отметить высокую материалоемкость формы при достаточно высокой стоимости материала.

Существует ещё один способ получения компаундовых форм методом намазки. Он более подробно изложен в приложении 3.

Прежде чем переходить к следующему этапу — созданию восковой модели — стоит немного поговорить о воске как о материале и о его выборе для работы. Современная промышленность выпускает несколько видов воска, используемых для моделирования.

- Литьевой воск.

Основной вид воска, используемый для тиражирования изделий. Применяется в виде заливки расплава в резиновую форму методом свободной заливки либо инъекции. Он представляет собой основу из натурального природного или искусственного воска, а также химические соединения и природные вещества, которые добавляются для изменения физических и механических свойств (вязкость, твёрдость, упругость, механическая память, текучесть расплава, отделяемость от резиновой формы, скорость застывания, усадка и пр.). Литьевой воск выпускается в виде блоков, плиток, чешуек или гранул. Температура начала плавления 70–80°. Чешуйки и гранулы более удобны в повседневной работе, т. к. легче загружаются и быстрее расплавляются, однако воск в блоках и плитках имеет более длительный срок хранения, т. к. из него в процессе хранения меньше испаряются летучие вещества, влияющие на свойства воска.

- Скульптурный воск.

Для скульптурного воска важной является не температура плавления, а температура размягчения, которая колеблется в пределах 60–80 °С (до 45% легче скульптурного пластилина). По своим свойствам они напоминают модельную глину. После нагрева материал отлично лепится, и ему можно

придать любую форму. Для равномерного нагрева их опускают в горячую воду. Очень важным нюансом является липкость воска, что позволяет без труда соединять детали или наоборот. Скульптурный воск используют и для прямой заливки (он даёт гораздо меньшую усадку, чем литевой воск), но температура плавления его гораздо выше — до 100 °С. Небольшое расширение и малая усадка — основные положительные характеристики.

- Воск для резьбы.

Используется для создания моделей путём ручной механической обработки или с использованием 3D фрезерных станков. Воск для резьбы твёрд и пластичен лишь до определённой степени. На нём возможна механическая фрезеровка наиболее сложных и тонких деталей. Плавится такой воск при температуре 104–120°, минует промежуточную вязкую фазу и практически сразу становится жидким. Он льётся, как вода, быстро застывает, образуя ровную блестящую поверхность, и становится чуть более мягким, чем до плавки. Однако стоит учесть, что этот воск имеет очень значительную усадку. Выпускают его в блоках, но нарезанным на пластинки. Воск хорошо поддаётся обработке напильником и бормашинкой, но только самыми грубыми борами и на самой низкой скорости.

- Водорастворимый воск.

Это хрупкое вещество, которое очень тяжело обрабатывается механическим способом. При изготовлении деталей из водорастворимого воска следует работать очень аккуратно, т. к. вероятность появления сколов и трещин очень высока. Плавится при температуре 66°–77° и может быть инжектирован или залит вручную. Из-за своей уникальной способности растворяться в воде без остатка данный воск очень популярен среди модельеров. Используется в качестве основы для формирования объёмного изделия из воскового проката, наплавления на поверхность различных видов воска и пр. Внешняя часть заготовки, сделанная из водорастворимого воска, является внутренней поверхностью готового изделия. При необходимости прорезки объёмных тонкостенных филигранных орнаментов достаточно

окунуть заготовку из водорастворимого воска в расплав обычного воска. После прорезки модели воск легко и быстро растворяется в тёплой воде. При заливке или инъекции в форму воск точно воспроизводит её поверхность. При последующей заливке обычного воска и растворении основы легко получить тонкостенную восковую модель. Недостатком водорастворимого воска является его одноразовость: после растворения в воде и выпаривания воск значительно теряет свои свойства.

- Липкий воск.

Главным отличием липкого воска является высокая способность прилипания к другим воскам — адгезия. Он обладает высокой температурой плавления (до 140°) и низкой текучестью, используется для склеивания элементов восковых моделей и создаёт очень прочное сцепление между деталями восковой модели.

Перед созданием восковой модели следует очень внимательно отнестись к выбору типа воска в зависимости от способа создания восковой модели.

В рассматриваемом нами варианте мы будем говорить о первых двух типах воска — литьевом и скульптурном. При разогреве воска и подготовке его к литью надо понять, что не все воски могут быть разогреты на водяной бане. Кроме того, для качественного литья при свободной заливке слабо прогретый воск, касаясь холодных стенок формы, быстро застывает, не прочитывая полностью фактуру поверхности. Кроме того, на плоских поверхностях моделей может возникать эффект «набегающих волн».

С другой стороны, сильно перегретый воск (свыше 140–150°) также нежелателен при заливке, особенно если он используется повторно. В повторном воске так или иначе растворена вода, и при заливке такого воска влага конденсируется в виде небольших пузырей, портя поверхность формы.

Наиболее характерные дефекты при получении восковых моделей методом свободной заливки и причины, приводящие к данным дефектам, приведены в приложении 3.

Без рассмотрения конкретных случаев для свободного литья воска, можно сказать, что наиболее удобна температура — 100°–120°. Разогрев воска удобно производить в печи с регулируемой температурой, либо в регулируемой масляной бане. Разогрев воска на электрической плитке необходимо проводить с особой осторожностью, регулярно перемешивать и не допускать быстрого нагрева. Непрерывный контроль процесса разогрева воска в таком случае обязателен.

Вторым этапом процесса изготовления восковой модели является подготовка резиновой формы для литья. Её необходимо тщательно очистить от загрязнений и остатков воска прошлого литья. Кроме того, форму необходимо тщательно высушить от капель влаги. Следующим этапом подготовки формы является её прогрев до 60–70°. Он необязателен, но желателен, особенно при наличии мелких деталей в форме, либо тонкой фактуры поверхности. При конечном этапе подготовки формы её необходимо установить на ровный стол и стянуть форму таким образом, чтобы разрез на резиновой форме (если он есть) не расходился. Для этих целей наиболее удобно использовать обычный скотч.

Тщательная подготовка формы и расплава воска к заливке гарантирует минимизацию дефектов отлитой восковой формы.

После подготовки необходимо приступить непосредственно к заливке самого воска. Заливка воска должна осуществляться быстро тонкой струей, но без расплескивания воска по сторонам, так как попавшие на поверхность капли быстро застывают, портя поверхность. Заливка должна производиться одним приёмом, как показано на рис. 42. Желательно, чтобы заливаемого воска в ёмкости для разогрева было несколько больше, чем объёма модели. Оставшийся в ёмкости воск оставляют на подогреве в печи для его доливки в форму в процессе усадки.

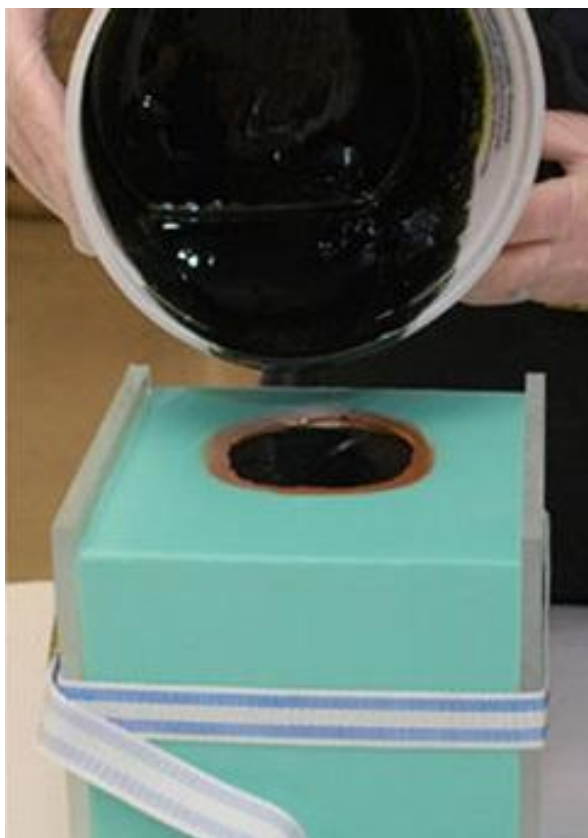


Рис. 42. Процесс заливки воска в резиновую форму

После полной заливки формы необходимо провести процесс остужения формы и воска.

Для экономии воска, а также для ускорения последующих операций на этой стадии есть возможность получения так называемых пустотелых восковых форм — корок. Их получение осуществляется следующим образом: после того как поверхность свободно залитой формы слегка затянется застывшим воском, необходимо сделать небольшие отверстия в восковой корке и быстро слить не застывший воск в отдельную ёмкость, как показано на рис. 43.

Стоит отметить, что данный способ получения восковой модели имеет как свои достоинства, так и недостатки, и иногда он нежелателен при изготовлении модели. К достоинствам в первую очередь стоит отнести ускорение процесса на определённых стадиях изготовления формы для моллирования, а также экономию материала при заливке большого числа форм. К недостаткам можно отнести риски получения брака модели,

особенно при отливке сложных форм, имеющих разноразмерные или сильно выступающие угловатые элементы. Это связано в первую очередь с неравномерностью остывания таких форм, следовательно, и с разной толщиной пристывшей корки. При раннем сливе воска возможно образование сквозных дырок в модели или её критичной разнотолщинности. Кроме того, в процессе дальнейшего остывания модели возможны её деформации.

Получение корковых форм методом заливки и обратного слива воска целесообразно использовать при уже имеющемся опыте изготовления восковой модели.



Рис. 43. Этапы получения корковой восковой модели

Существует и ещё один метод получения корковых восковых форм — метод оплеска. При этом методе в нагретую форму заливается небольшие

порции воска, и форма ополаскивается расплавом воска. При этом воск, остывая, затвердевает на стенках формы. При многократном повторении этой операции толщина стенки восковой модели увеличивается до необходимого размера. Данный способ удобен для получения моделей с ровными стенками, например, стаканов, но плохо применим для сложных форм, имеющих выступающие части или мелкий рельеф.

В случае имеющихся сомнений лучше дождаться полного остывания восковой заливки в форме. Принудительное остужение воска не рекомендуется, так как при этом процесс остывания становится менее равномерным и увеличивается вероятность образования дополнительных дефектов на модели (приложение 3).

После остывания формы с воском до комнатной температуры форма разбирается, и восковая модель вынимается.



Рис. 44. Процесс извлечения восковых моделей из формы

Следующим крайне ответственным этапом является установка восковой модели на литниковой чаше, подвод дополнительных литников, а также воздушных выпаров.

Литниковая чаша представляет собой открытый воской объём, как правило, в виде полусферы или усечённого конуса, припаеваемого к модели. Объём литниковой чаши в классическом объёмном моллировании желателен превышать объём моллируемого изделия. В некоторых

вариантах, когда модель имеет большую плоскость для заливки, размер литника можно уменьшить. Это обуславливается тем, что в дальнейшем часть стекла для моллирования может быть помещена сразу внутрь формы. Надо понимать, что закладываемое для моллирования стекло, особенно если закладка состоит из небольших кусков, занимает гораздо больший объем (до 40%), чем смолированный. Так, например, для модели «голова Будды», что изображена на рис. 44, литниковая чаша может составлять не больше половины объема фигуры, а для модели, показанной на рис. 45, объем литниковой чаши должен быть на треть больше объема самой восковой модели, так как литниковые каналы (ноги девушки) малы для укладки через них стекла.

Если же моллирование фигуры будет происходить в технике спекания стекольного порошка, который достаточно легко засыпать через небольшие литниковые отверстия, то размер литниковой чаши также можно уменьшить до половины моллируемой фигуры.

В случае моллирования открытой модели, имеющей большую плоскость, литник будет представлять собой лишь увеличенные на половину вертикальные стенки формы.



Рис. 45. Восковая модель на двух опорах

Ещё одним немаловажным фактором монтажа сложной восковой модели является место припайки литниковой чаши. В некоторых случаях это могут быть не обязательно плоские поверхности модели. Так, на рис. 46 показана установка литниковой чаши для модели «бараний рог».



Рис. 46. Восковая модель «бараний рог» с установленным литником

На рис. 46 видно, что наиболее удобным местом для установки литниковой чаши является не плоская поверхность, а точка, при которой стекающие потоки расплавленного стекла направлены вниз и лишь на небольшом участке поднимаются вверх. В данном случае это наиболее компактное и технологически правильное решение расположения литниковой чаши.

Более сложное расположение литниковой чаши и литниковых каналов представлено на рис. 47.



Рис. 47. Восковая модель «Балерина» на литниковой чаше и с литниковыми каналами

На рис. 47 видно, что кроме конусной литниковой чаши для качественного моллирования модели требуется установка дополнительных литниковых каналов, которые в дальнейшем удаляются механическим способом. Эти каналы необходимы для равномерного заполнения формы стеклом. Их расположение определяется двумя факторами. С одной стороны, количество и размеры должны быть такими, чтобы стекломассе было максимально просто заполнить форму, а с другой стороны, при их расположении необходимо учитывать тот факт, что в дальнейшем эти элементы формы придётся удалять механическим путём с последующей

зачисткой места контакта. В равновесном сочетании этих факторов и происходит установка дополнительных литниковых каналов.

Крепление литника, литниковых каналов к самой восковой модели может осуществляться путём использования расплава «липкого воска», либо их припайкой электрическим шпателем (см. приложение 3). Аккуратность проведения процесса припайки во много экономит время при механической зачистке конечного изделия.

Следующим этапом подготовки формы является процесс установки модели с литником внутри металлической опоки.

Опокой называется металлическая оболочка из жаростойкого металла. Суть её заключается в удержании жаростойкой массы от рассыпания, что позволяет значительно экономить состав в отличии от классического способа моллирования. Наиболее удобна в данном случае нержавеющая сталь в виде согнутого листа толщиной 1,5–2 мм, либо обрезок соответствующей трубы с такой же толщиной стенки. Диаметр опоки задаётся немногим больше габаритного размера модели с опокой примерно на 1–2 см, длина её определяется примерно на 5–6 см больше максимальной высоты модели, установленной на литник.

На рис. 48. показана схема установки модели в опоку.

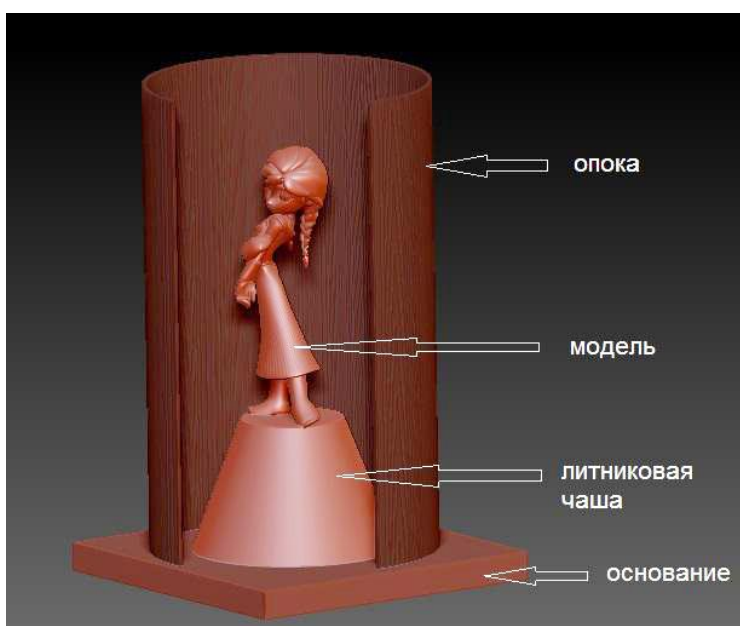


Рис. 48. Схема установки модели в опоку

Модель с литником устанавливается на опорную площадку. Для того, чтобы модель не двигалась во время манипуляций и не всплыла во время заливки массы, её припаивают к площадке при помощи нагретого шпателя. Затем на площадку устанавливают опоку, как показано на рисунке. Место контакта опоки и площадки герметизируют, замазывая границу пластилином, глиной или используя клеевой пистолет. Эта операция необходима для того, чтобы заливаемая в дальнейшем смесь не вытекала через щель.

На последнем этапе монтажа модели в опоку необходимо установить «выпары» — дополнительные каналы, облегчающие выход замкнутого внутри воздуха и заполнение формы стекломассой. Примерное их расположение и форма приведены на рис. 49. Выпары представляют собой тонкие металлические или деревянные спицы, диаметром 2–3 мм, заточенные с одного конца. Заостренными концами эти спицы втыкаются в самые выступающие части модели, а другой её конец выводится на пределы опоки. В дальнейшем после заливки массы и её застывания спицы вынимаются, а на их месте образуются воздушные каналы, по которым будет выходить выдавливаемый стекломассой воздух. После установки выпаров опока с моделью готова к заливке массы.

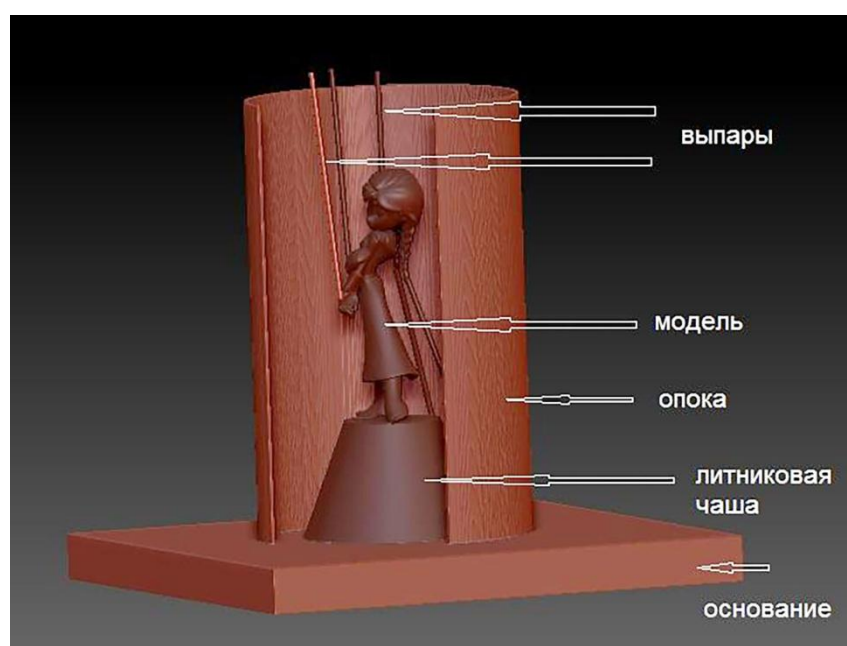


Рис. 49. Восковая модель на литниковой чаше с установленными выпарными спицами, подготовленная для заливки огнеупорной массы в опоку

Следующим этапом изготовления формы для объёмного моллирования является подготовка массы к заливке и непосредственно сама заливка формы.

Для начала стоит рассмотреть, какими свойствами она должна обладать.

1. Огнеупорность. Масса должна сохранять свои конструкционные свойства, т. е. не терять геометрических параметров при температурах порядка 900°.

2. Пластичность при формовании. Масса должна иметь низкую вязкость порядка 100 П, достаточно текучую для заполнения опоки.

3. Масса должна легко разрушаться после процесса моллирования, для извлечения изделия.

4. Низкую адгезия к стеклу. Другими словами, масса не должна прилипать к стеклу.

5. Мелкодисперсность. Т. е. масса должна иметь способность достаточно чётко «прочитывать» рельеф и фактуру заливаемой модели.

6. Газопроницаемость. Масса должна быть способной пропускать выдавливаемый при моллировании воздух.

В настоящее время промышленностью выпускаются три основных типа материалов, способных в той или иной степени соответствовать перечисленным свойствам. Это материалы на силикатной, фосфатной и гипсовой основах.

Силикатные материалы состоят из различных форм оксида кремния — песка. Однако основной недостаток этих материалов — это высокая адгезия моллируемого стекла к материалу. Т. е. после моллирования будет очень сложно очистить стекло от остатков формы.

Материалы на фосфатной основе более подходят для цели моллирования стекла, но высокая цена ограничивает их широкое применение.

Наиболее приемлемыми для объёмного моллирования являются материалы на основе гипса. Базовый элемент этого материала — сульфат

кальция (CaSO_4), в некоторых случаях может использоваться как материал для изготовления простых форм для моллирования, не имеющих тонкой фактуры и с температурой моллирования не больше 800° . Это температурное ограничение связано в первую очередь со свойствами гидратов гипса. Эти гидраты образуются при затворении сухого гипса водой.

Так, при повышении температуры до 100° происходит выделение несвязанного избытка воды. При нагреве не более чем до 180° двухводный сульфат кальция теряет часть воды, переходя в полуводный — так называемый «жжёный гипс», пригодный для дальнейшего применения в качестве вяжущего вещества. При дальнейшем нагреве до 220° гипс полностью теряет воду, образуя безводный CaSO_4 , который лишь при длительном хранении поглощает влагу и переходит в полугидрат. Если обжиг вести при температуре выше 220° , то получается безводный CaSO_4 , который влагу уже не поглощает и не «схватывается» при смешивании с водой (это вещество нередко называют «мёртвый гипс»). При дальнейшем нагревании до 900° можно получить «гидравлический гипс», который после охлаждения вновь обретает свойства связываться с водой.

Именно последняя стадия разложения гипса на температурах моллирования, когда расплав стекла уже имеет низкую вязкость вкуче с низкой газопроницаемостью гипса, ограничивает его использование в качестве огнеупорного материала. Образующиеся газы выделяются внутрь формы, деформируя изделие.

Для избегания данного неприятного явления в формовочную массу добавляют «разрыхлители» — материалы, способствующие увеличению газопроницаемости. К ним относятся различные формы оксида кремния, а также мелко молотый шамот. До недавнего времени практиковалось использование асбеста в качестве разрыхлителя и дополнительного скрепляющего агента, но канцерогенные свойства ограничивают его использование в настоящее время. Более подробно технология приготовления формовочной массы самостоятельно изложена в книге Ю. П.

Сергеева «Выполнение художественных изделий из стекла». Стоит отметить, что состав, приведённый в книге, не даёт качественной поверхности мелких фактур из-за крупной фракции используемых материалов.

Не вдаваясь в физико-химические свойства, проходящие при взаимодействии сухой массы с водой, мы отметим, что вода является важным компонентом смеси, поэтому её дозирование крайне важно. Для основных формовочных смесей, выпускаемых промышленностью, это соотношение находится в пропорции как 2,5 / 1.

Необходимое количество компонентов можно рассчитать по следующему эмпирическому алгоритму:

1. Определяем необходимый для заливки объём смеси (V) (объём опоки минус объём модели).
2. Определяем необходимое количество сухой смеси. $M = 1,35 * V$.
3. Определяем необходимое количество воды $V_B = 0,4 * M$.

Данные эмпирические соотношения достаточно точно определяют количество необходимых материалов. Пример инструкции приготовления подобной формовочной массы приведён в приложении 3.

Взвешенные объёмы смешиваются в отдельной таре до образования гомогенного состава без комочков или осадка. Далее эту смесь целесообразно подвергнуть вакуумизации также и с той же целью, с которой вакуумировали формовочные резиновые компаунды. Далее вакуумированную смесь аккуратно заливают в приготовленную опоку. Заливку необходимо производить тонкой струей, без разбрызгивания массы на дно опоки, не касаясь струёй поверхности модели. Это поможет избежать образованию дефектов на поверхности изделия. Для заливки массы в опоку целесообразно использовать вибростол. Это помогает удалять привнесённые заливкой воздушные пузыри, а также удалять мелкие, прилипающие к воску кавитационные пузыри воздуха. Если же модель имеет замкнутые воздушные

полости, воздух из которых не может самостоятельно удалиться, целесообразно подвергнуть залитую опоку вакуумизации для его удаления.

В приложении 3 представлены фотографии поэтапного приготовления и заливки формовочной массы в опоку.

После окончания заливки форме необходимо выстояться и окрепнуть. Масса незначительно нагревается и немного (до 0,5%) увеличивается в объёме.

Время становления массы, а также другие технологические параметры, режимы заливки и прожига формы, как правило, указаны в инструкции к приобретаемому материалу. Примеры таких инструкций приведены в приложении 3.

После того как масса затвердеет и остынет до комнатной температуры (примерно 2 часа с момента заливки массы), необходимо отделить опоку с формой от основания, удалить выпарные спицы, а также просверлить продольные газоотводящие каналы, как показано на рис. 50. Эти каналы необходимы для облегчения выдавливания воздуха из формы при заполнении стекломассой.

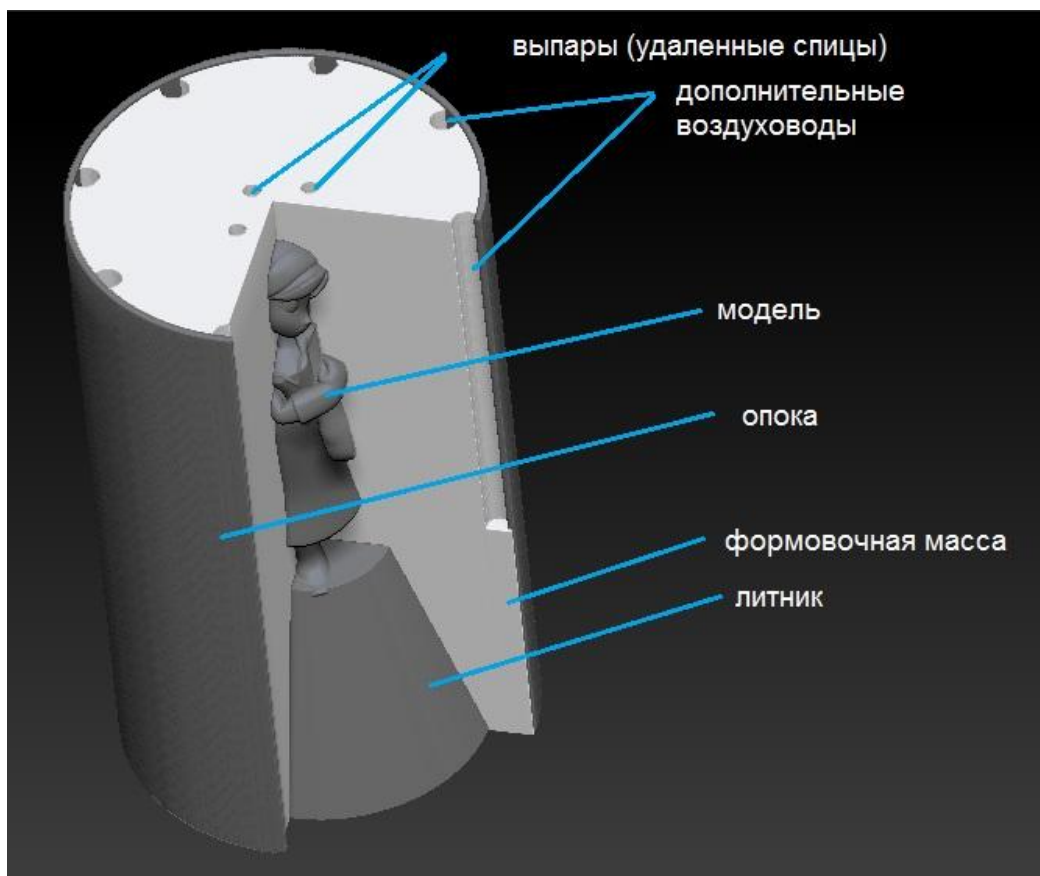


Рис. 50. Подготовленная к вытапливанию восковой модели опока

Следующим этапом в процессе изготовления формы является вытопка воска, при этом процессе восковая модель утрачивается полностью. Именно поэтому такая техника ещё называется «литьем по утрачиваемой модели».

Классический способ удаления воска из формы состоит в вытапливании его на «водяной бане». Форма устанавливается вниз литником над ёмкостью с кипящей водой. Нагретый водяной пар, контактируя с воском, плавит его, и воск стекает в ёмкость с водой. У данного способа есть свои достоинства и недостатки. К достоинствам относится послойная аккуратная вытопка воска, но это, пожалуй, всё. К недостаткам можно отнести длительность процесса (до 8 часов), дополнительная очистка вытапливаемого воска от воды для последующего использования, разрыхление внутренней поверхности формы паром. Схема установки опоки для вытапливания воска на водяной бане приведены на рис. 51.

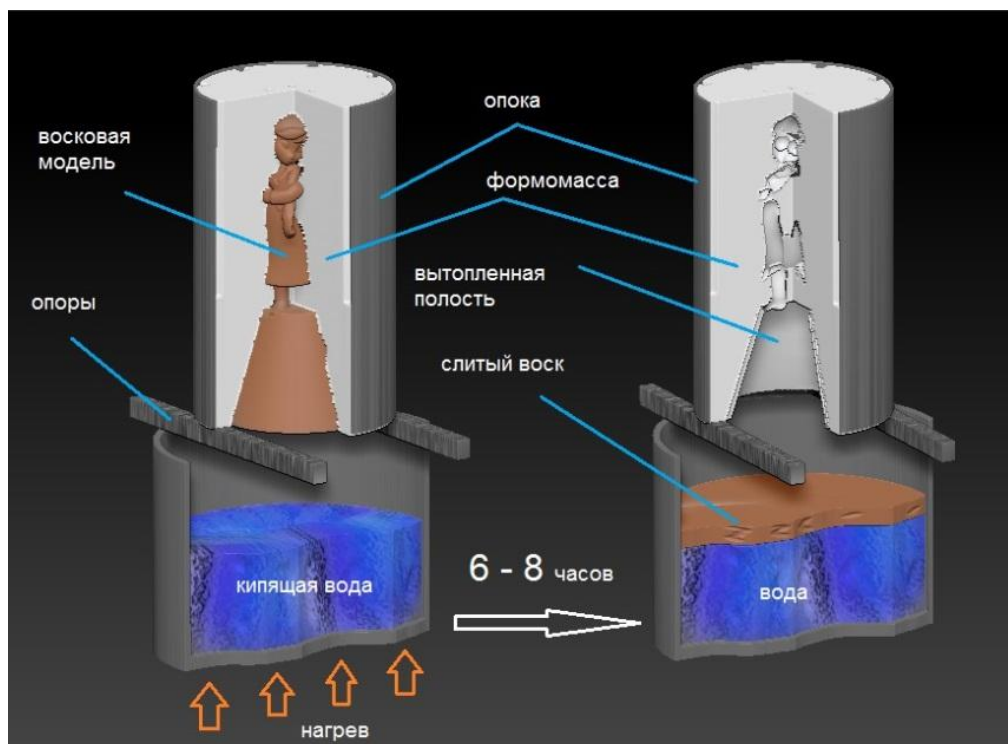


Рис. 51. Принцип вытапливания воска на водяной бане

Другим более удобным и быстрым способом удаления воска из формы является её равномерный нагрев в печи с регулируемой температурой.

Форма устанавливается в печь на металлический поддон литником вниз и нагревается до 130–150 °С. Форма в печь устанавливается через 2–3 часа после заливки массы в опоку до высушивания массы. Этот момент крайне важен в процессе вытопки воска в печи. Нагретая влага в форме создаёт паровую подушку, препятствуя пропитке стекающим воском стенок формы. Расплавленный воск собирается в поддоне и затем сливается.

Преимущества данного способа при соблюдении правил вытапливания заключаются в увеличенной скорости вытопки воска, отсутствии стадии очистки вытопленного воска, возможности вытапливать несколько форм одновременно. Главную опасность такого процесса вытопки составляет перегрев формы и воска, что может привести к его разбрызгиванию и ожогам, так как нагретый до 120 и до 250 °С воск выглядит совершенно одинаково. Кроме того, «быстрая» вытопка воска при температурах порядка 200° может привести к частичному разрушению фактурных внутренних элементов формы путём их отслоения.

Соблюдение технологических правил при использовании данного способа вытопки является основой получения качественной формы. Схема вытопки с использованием управляемого нагрева представлена на рис. 52.

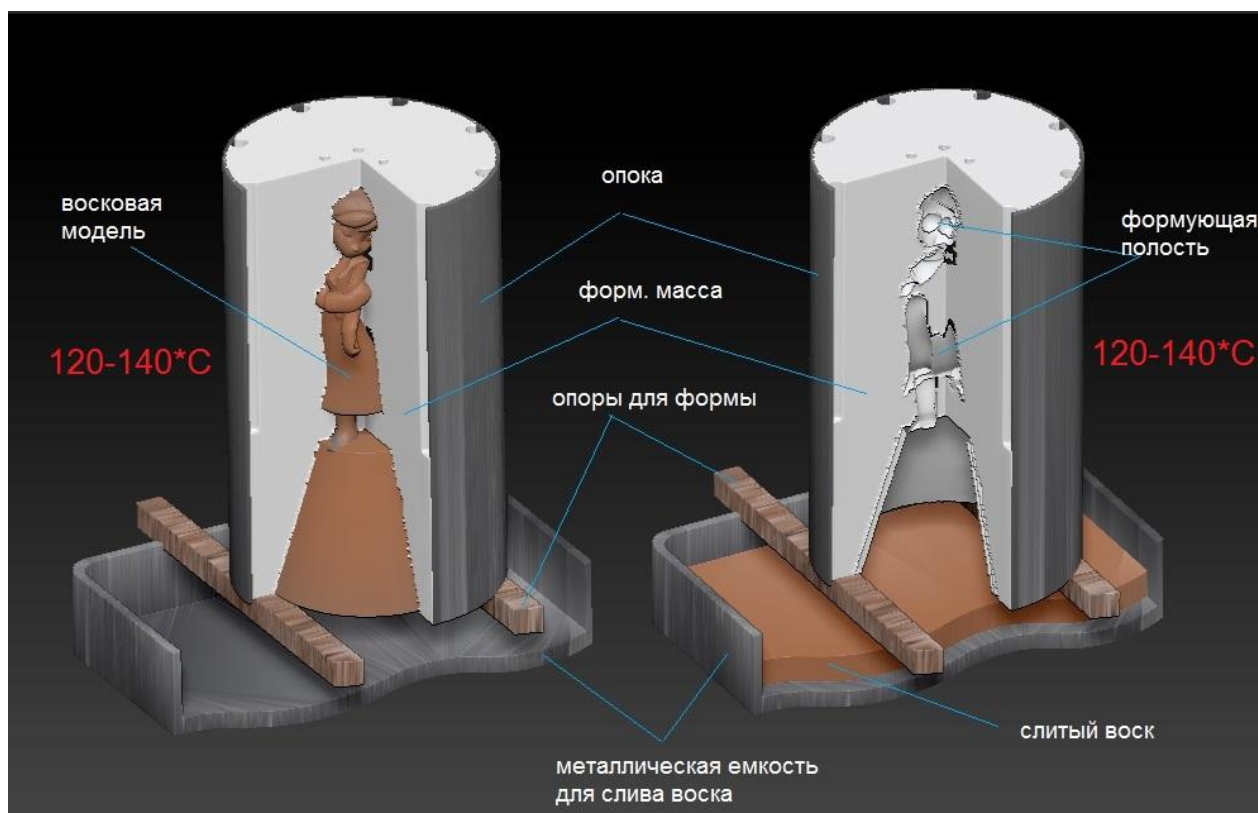


Рис. 52. Схема установки опоки в печи для вытопки воска

Последним этапом подготовки формы к моллированию является её сушка и прожиг. Эти два процесса могут быть соединены в один в управляемой печи. Форма устанавливается в печь на небольшие керамические опоры литником вниз. Такое положение позволяет избежать того, что небольшие кусочки, отколовшиеся в ходе прожига формы от поверхности, не останутся в форме и в последующем не затекут расплавом стекла. Схема установки формы для прожига показана на рис. 53.

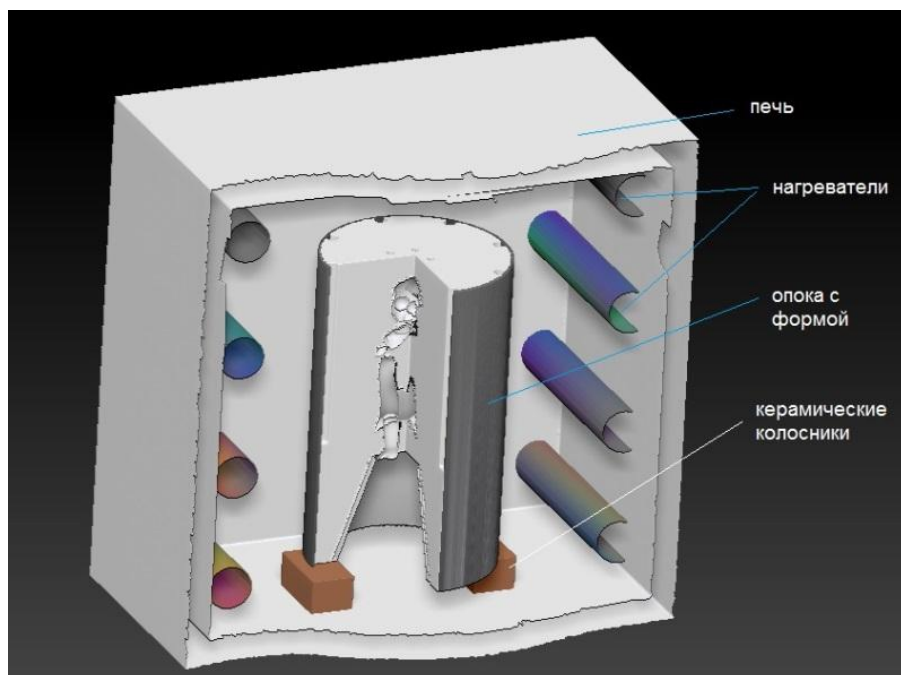


Рис. 53. Схема установки опоки с формой в печь для сушки и обжига

Режимы обжига формы определяются составом сухой смеси, а также размерами формы и индивидуальны в каждом отдельном случае. Для большинства выпускаемых промышленностью формовочных смесей на основе гипса режим прожига форм может быть представлен, как показано в таблице 2.

Таблица 2. Температурно-временные параметры процесса прожига форм

Размер опоки (мм)	Стадия	Продолж (ч)	Темп. (°С)
85 x 100	нагрев	1	150
	выдержка	2	150
	нагрев	2	375
	выдержка	2	375
	нагрев	2	580
	выдержка	2	580
	нагрев	2	720
	выдержка	2	720

	снижение	12	20
120 x140	нагрев	1	150
	выдержка	3	150
	нагрев	2	375
	выдержка	2	375
	нагрев	2	580
	выдержка	2	580
	нагрев	2	720
	выдержка	3	720
	снижение	16	20
150 x 300	нагрев	1	150
	выдержка	4	150
	нагрев	2	375
	выдержка	2	375
	нагрев	2	580
	выдержка	2	580
	нагрев	2	720
	выдержка	4	720
	снижение	24	20

В представленной таблице отражены три стадии нагрева разноразмерных опок.

На первой стадии (до 150°) происходит сушка физически связанной воды. Через открытые поверхности опоки влага интенсивно испаряется. При этой температуре двухводный гипс быстро теряет часть воды и превращается в полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Увеличение температуры сушки не целесообразно, так как возможно образование избыточного давления пара в закрытых воздушных пустотах формы, что может привести к образованию внутренних разрывов формы или отслоению.

Время выдержки на температуре сушки определяется габаритными размерами залитой опоки. Если размеры опоки больше представленных в таблице, то время выдержки должно быть пропорционально увеличено.

Вторая стадия (до 375°) — промежуточная выдержка. Она определяется частичным выделением кристаллически связанной влаги и переформированием внутренней структуры материала (в основном связующего — гипса), обезвоженный полугидрат при температуре $320\text{--}360^{\circ}$ переходит в растворимый ангидрит. Подобная перекристаллизация должна равномерно пройти по всему объёму залитой формовочной массы. Эмпирическое время подъёма и время выдержки до этой температуры определяются размерами опоки и, в случае увеличения размера они должны быть также пропорционально увеличены.

Третья стадия прогрева (до 580°) — это стадия переформирования второго компонента формовочной смеси — кварцевого песка. Диоксид кремния обладает полиморфизмом. Полиморфизм — это способность материала существовать в различных кристаллических формах, полиморфных модификациях. Стабильная при нормальных условиях полиморфная форма — α -кварц (низкотемпературный), β -кварцем называют высокотемпературную модификацию. Переход α -кварца в β -кварц происходит при температуре 573° .

Именно это превращение компонента формирующего материала и определяет третью стадию прогрева формы.

Конечная стадия прожига формы ($720\text{--}750^{\circ}$) опять же обусловлена изменениями, проходящими в гипсе. Образовавшийся на стадии прогрева ангидрид при этой температуре переходит в инертную нерастворимую стадию. На этом этапе также происходит незначительное изменение объёма материала, которое должно быть зафиксировано длительной температурной выдержкой, время которой определяется размерами формы.

Как показывает практика, именно длительная выдержка при максимальной температуре влияет на качество поверхности изделия после моллирования.

Стадия остывания формы, представленная в табл. 2, обуславливается в первую очередь только теплопроводностью и термостойкостью прожжённой формовочной смеси. При остывании формы возможно образование незначительных термических трещин, которые не особо влияют на качество моллируемого изделия, и следы от них легко могут быть убраны на стадии холодной обработки изделия.

Следующая стадия технологического процесса — непосредственно сама стадия моллировая. Суть процесса объёмного моллирования достаточно подробно была изложена выше, поэтому на данном этапе мы остановимся лишь на схемах установки формы и укладки стекла в литник перед моллированием. Подобная схема представлена на рис. 54, а практические фото подготовки в приложении 3.

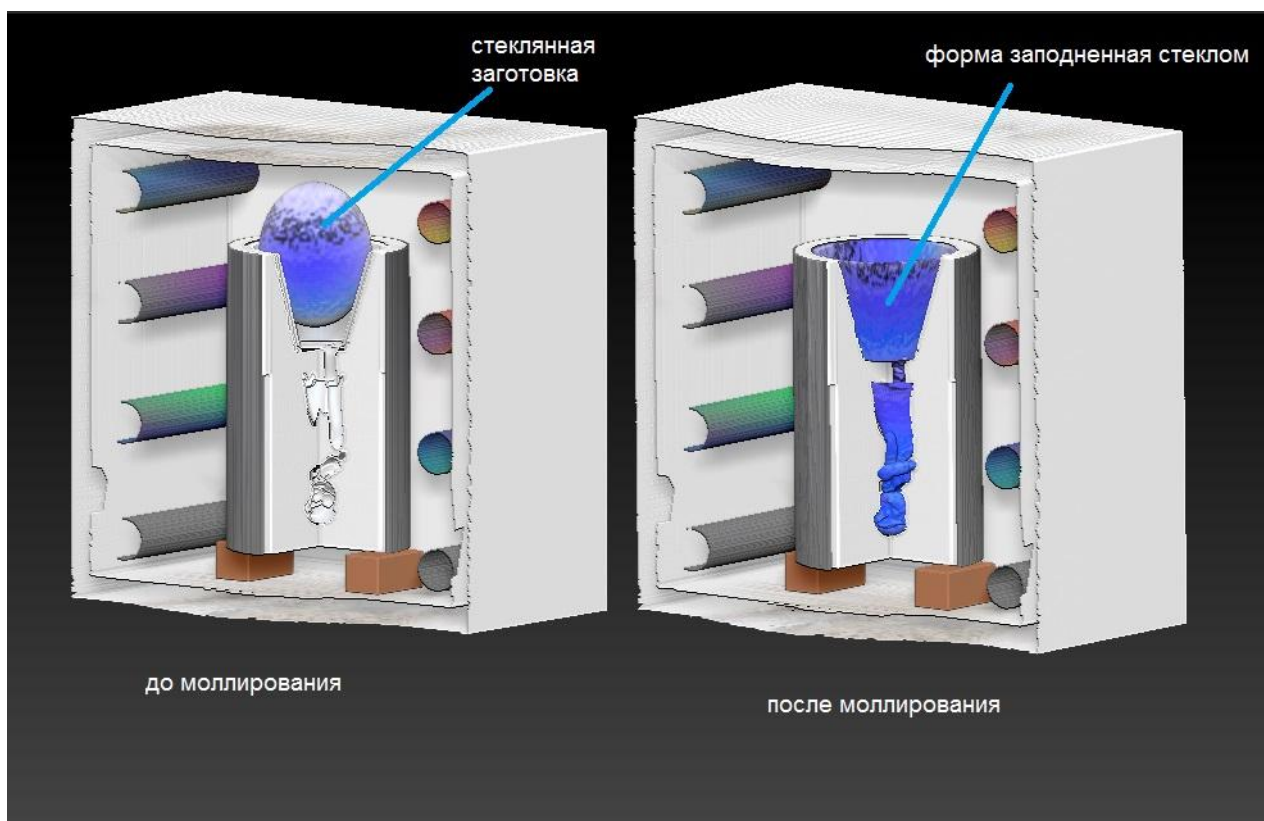


Рис. 54. Схема установки формы для моллирования в печь

После процесса моллирования форма аккуратно разбирается, и стеклянное изделие вынимается из опоки. Для облегчения этого процесса остывшую форму целесообразно замочить в тёплой воде, что значительно облегчит процесс извлечения стеклянной фигуры из замкнутой опоки. В зависимости от качества подготовительных работ по приготовлению формы и моллированию определяется и объём механической обработки изделия.

Механическую обработку изделия после процесса моллирования можно разделить на три стадии:

1. Удаление литника и зачистка дефектов моллирования.
2. Выравнивание поверхности.
3. Фактурирование поверхности кислотными составами.

Стадия механической обработки стеклянной фигуры после моллирования начинается с процесса удаления литника и вспомогательных элементов. К ним относятся остатки пролившихся выпаров, а также дополнительных литниковых каналов, если они имели место быть. Этот процесс осуществляется с использованием режущего алмазного инструмента, а также шлифовальных станков. Литник как деталь отрезается и затачивается. В случае расположения сложных литниковых каналов, как показано на рис. 47, они отрезаются бормашинами со специальными алмазными насадками в виде дисков. Непосредственные места отреза в дальнейшем зачищаются бормашиной с соответствующими насадками.

Возможные дефекты поверхности, возникшие в ходе моллирования, также удаляются бормашиной и алмазными борами различной конфигурации.



Рис. 55. Алмазные боры и пример работы с бормашинкой

Работа с вращающимся алмазным инструментом требует особых профессиональных навыков с обязательным использованием средств защиты (защитные очки, респираторы, специализированные перчатки).

После зачистки поверхности необходимо приступить выравниванию поверхности стеклянной фигуры. Эта стадия необходима, если приходилось

подвергать обработке алмазным инструментом непосредственно само изделие, и при этом была нарушена фактура поверхности. При условии же если стекло из формы моллирования вышло без дефектов, стадию выравнивания поверхности можно пропустить.

Выравнивание поверхности осуществляется с использованием пескоструйной обработки с использованием мелкого абразива. Фракцию абразива, а также давление пескоструйного аппарата необходимо подбирать экспериментально с учётом проводимой творческой работы. Главное предъявляемое требование к процессу — не нарушить фактурный рельеф поверхности. Поверхности фигуры необходимо лишь равномерно заматировать и выровнять следы, оставленные алмазным инструментом.

Примеры механической обработки стекла приведены в приложении 3.

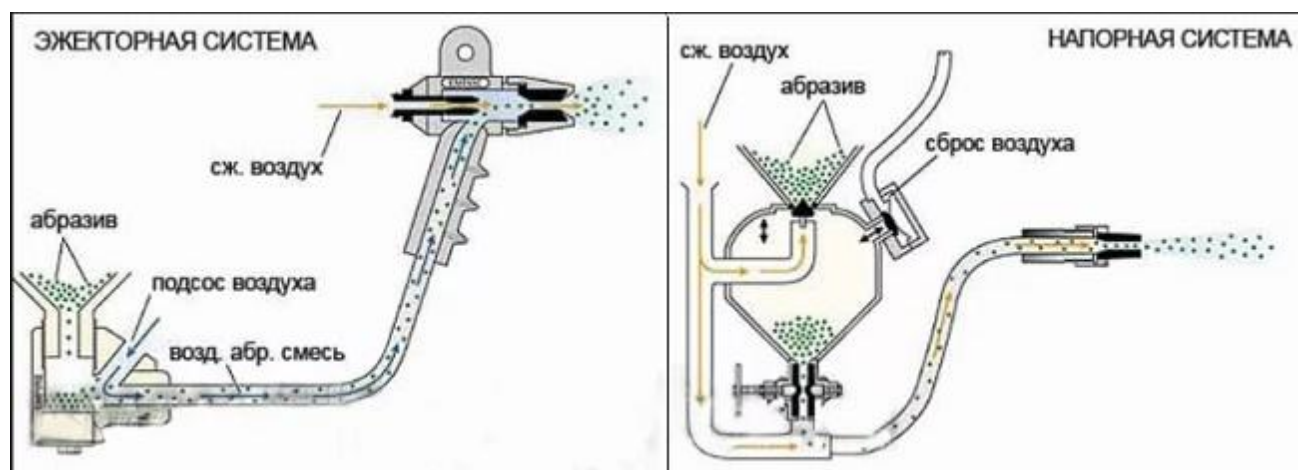


Рис. 56. Принципы работы пескоструйного аппарата

Последней стадией обработки моллированной фигуры является химическое травление поверхности стеклоизделия.

В первую очередь надо отметить, что работа с кислотами является крайне опасной, поэтому необходимо тщательно изучить правила техники безопасности при работе с опасными материалами и неукоснительно соблюдать их.

Существует три основных типа фактурной кислотной обработки: прозрачная, ледяная и матовая. На рис. 57 представлены варианты такого матирования.



Рис. 57. Три типа фактурной кислотной обработки поверхности

Кислота, способная реагировать со стеклом, — это плавиковая кислота (HF). Взаимодействуя с поверхностью стекла, она образует фторсодержащие соединения, которые при определённых условиях могут растворяться (высветлять стекло) или же осаждаться на поверхности стекла (матировать стекло). Эти условия определяются дополнительными компонентами, вводимыми в состав раствора кислоты, а также химическим составом самого стекла. Наиболее удобным стеклом для обработки кислотами является хрусталь, менее удобным является натрий-кальциевое стекло, и очень плохо кислотой обрабатываются «оконные» стёкла.

Для прозрачного осветления пескоструйной поверхности стекла используют смесь серной и плавиковой кислоты в соотношении 1 к 1 по весу. Образующиеся при таком травлении фториды растворяются в смеси кислот, либо выпадают в осадок, не прилипая к поверхности стекла. Соотношение кислот может варьироваться в зависимости от типа поверхности и состава

стекла. Стекло, а в особенности хрусталь, становятся максимально прозрачными. Данный состав является наиболее опасным в работе.

Для «ледяного» травления наиболее удобна чистая плавиковая кислота. После пескоструйной обработки она даёт поверхность, похожую на лёд.

Для получения матовой поверхности стекла, либо для «выглаживания» пескоструйной поверхности используют смеси плавиковой кислоты и её солей. Различные типы солей, а также их различное соотношение дают разнообразные фактуры. Их составы приведены в соответствующих справочниках.

Химическое травление является наиболее опасной техникой работы со стеклом. Для того чтобы избежать работы с кислотами и достичь желаемого результата, возможно использование лаков с высокой адгезией (способностью прилипать) на различных основах. При подборе типов лаков и красителей к ним возможно добиться хорошего визуального эффекта.

Единственный недостаток этого способа обработки поверхности стекла — недолговечность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенное методическое пособие является попыткой донести комплексное восприятие технической и технологической информации для студентов гуманитарных вузов, занимающихся практическим материаловедением в целом и стеклоделием в частности.

Вопросам материаловедения и изучения технологических дисциплин в подобных вузах уделяется крайне незначительное внимание: они в лучшем случае базируются на знаниях и умениях отдельных мастеров-преподавателей и находятся на хорошем, но ремесленном уровне. Непонимание общей картины проводимого процесса, неполнота знаний приводят выпускника подобного вуза в дальнейшей работе с материалом ко многим ошибкам, которые приходится исправлять самостоятельно.

Для уменьшения количества подобных ошибок и создано настоящее учебно-методическое пособие о современных особенностях классического моллирования стекла.

Предложенное пособие не охватывает весь объем способов и приёмов моллирования стекла, а базируется на опыте автора, многолетней практике и багаже технических и технологических знаний. Кроме того, методическое пособие максимально адаптировано к уровню знаний студентов гуманитарных вузов о технологических процессах для более глубокого понимания.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппен, А. А. Химия стекла / А. А. Аппен. — Л. : Химия, 1974. — 351 с.
2. Грошкова, Л. Г. Древнее и античное стеклоделие / Л. Г. Грошкова. — М. : Типография МГХПА им. С. Г. Строганова, 2015 — 257 с.
3. Гуляян, Ю. А. Особенности изменения деформационных характеристик стеклообразующих расплавов / Ю. А. Гуляян // Стекло и керамика. — М., 2009. — С. 3–8.
4. Гуляян, Ю. А. Твердение стекла при формовании / Ю. А. Гуляян // Стекло и керамика. — М., 2004. — С. 5–10.
5. Гуляян, Ю. А. Физико-химические основы технологии стекла / Ю. А. Гуляян. — Владимир : Транзит-ИКС, 2008. — 736 с.
6. Зисман, Г. А. Курс общей физики : учеб. пособие / Г. А. Зисман, О. М. Годес. — СПб. : Лань, 2007. — 352 с.
7. Качалов, Н. Н. Стекло / Н. Н. Качалов. — М. : Изд. АН СССР, 1959. — 465 с.
8. Китайгородский, И. И. Справочник по производству стекла / И. И. Китайгородский, С. И. Сильвестрович. — М. : Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. — 2030 с.
9. Корякина, З. Легкоплавкие стекла с определенным комплексом физико-механических свойств / З. Корякина, З. Битт // Компоненты и технологии. — М., 2004. — С. 126–128.
10. Кунина, Н. Античное стекло в собрании Эрмитажа / Н. Кунина. — СПб. : АРС, 1997. — 360 с.
11. Ланцетти, С. Изготовление художественного стекла / С. Ланцетти, М. Нестеренко. — М. : Высшая школа, 1972. — 288 с.

12. Левинсон, Е. А. Художественное стекло и его применение в архитектуре / Е. А. Левинсон, Б. А. Смирнов, Б. А. Шелковников, Ф. С. Энтелис. — М. : Стройиздат, 1953. — 168 с.
13. Сергеев, Ю. П. Выполнение художественных изделий из стекла / Ю. П. Сергеев. — М. : Высшая школа, 1984. — 240 с.
14. Технология стекла / под ред. И. И. Китайгородского. — М. : Изд-во лит-ры по строит-ву, 1967. — 564 с.
15. Химическая технология стекла и ситаллов / под ред. Н. М. Павлушкина. — М. : Стройиздат, 1983. — 430 с.
16. Энтелис, Ф. С. Формование и горячее декорирование стекла / Ф. С. Энтелис. — СПб. : изд-во Инж.-строит. ин-та, 1992. — 140 с.
17. The ancient glass pottery — more evidence and new questions // the 15 congrès de l'association internationale pour l'histoire du verre. — Corning, 2001. — P. 16–20.



Рис. 1.1

Косметическая баночка

Баночка с двумя ручками с широкой горловиной.

Материал: тёмно-синее непрозрачное стекло.

Размер: высота 8,7 см. Примерно 1350 г. до н. э.

Найдено: Нижний Египет, Мемфис.

Техника: метод намотки стеклянной нити на керамический сердечник с декоративным прочесом стеклянной нити.

Местонахождение: Британский Музей, Лондон.

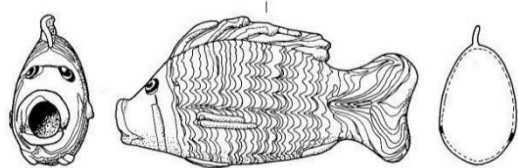


Рис. 1.2

Сосуд в виде рыбы

Бутыль в виде стилизованной «рыбы Булти», обитающей в Ниле.

Материал: тёмно-синее непрозрачное стекло.

Размер: длина: 14,1 см, ширина: 7 см, глубина: 3,6 см, вес: 140 граммов.

Примерно 1400 г. до н. э.

Найдено: Нижний Египет, Мемфис.

Техника: метод намотки стеклянной нити на керамический сердечник с декоративным прочесом стеклянной нити.

Местонахождение: Британский Музей, Лондон.



Рис. 1.3

Скульптурная голова

Миниатюрная копия головы фараона Аменхотепа III в военной короне.

Материал: тёмно-синее непрозрачное стекло.

Размер: высота 3,7 см.

Примерно 1400 г до н. э.

Найдено: Нижний Египет, Мемфис.

Техника: метод спекания из стеклянной крошки в форму с последующей росписью.

Местонахождение: Музей Калуста Гюльбенкяна, Лиссабон.



Рис. 1.4

Накладка

Стеклянная маска фараона Эхнатона.

Материал: голубое непрозрачное стекло.

Размер: 4,7 см.

Примерно 1300 г до н. э.

Найдено: Верхний Египет.

Техника: метод спекания из стеклянной крошки в форму с последующей росписью.

Местонахождение: коллекция Гроппи, Швейцария.



Рис. 1.5

Скульптура

Священный жук-скарабей.

Материал: голубое непрозрачное стекло
длина 7,6 см.

Примерно 1300 г до н. э.

Найдено: Верхний Египет.

Техника: метод спекания из стеклянной крошки в форму с последующей доработкой механическими инструментами.

Местонахождение: Галерея Баракат, США.

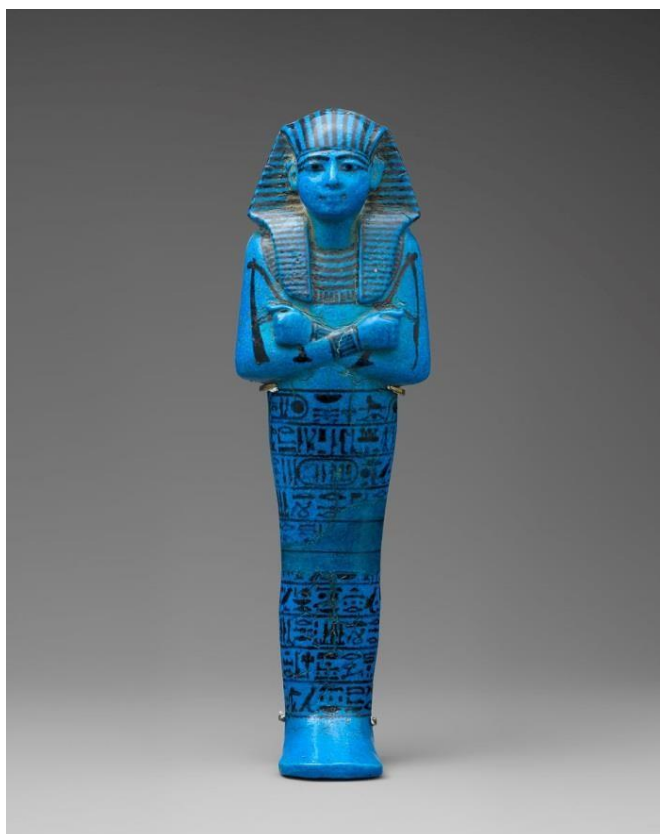


Рис. 1.6

Скульптура

Ритуальная статуэтка Шабти.

Материал: стеклофьянс голубого цвета.

Размер: высота 30,5 см; ширина 8,8 см;
глубина 6,5 см.

Техника: отминка в форму с последующим спеканием и росписью.

Найдено: Верхний Египет, Фивы, Долины Царей, Гробница Сети I.

Местонахождение: Британский музей, Лондон.



Технологические схемы

Схема изготовления эллинских и римских стеклянных сосудов методом прессования в форму, предложенные немецким исследователем Розмари Лирке.



Рис. 1.7



Рис. 1.8

Стеклянная скульптура

Голова Ливии Друзиллы, жены Октавиана Августа, 2–3 в. н. э.

Материал: зелёное прозрачное стекло.

Размер: 4 см.

Техника изготовления: литье, моллирование.

Найдено в Керчи.

Местонахождение: Эрмитаж, Санкт-Петербург.



Рис. 1.9

Стеклянный портрет

Голова женщины, 1-я половина II в. н. э.

Материал: синее прозрачное стекло.

Размер: 8 см.

Техника: литье с последующей механической доработкой.

Местонахождение: Музей искусств Метрополитен, Нью-Йорк.



Рис. 1.10

Скульптура

Голова римского императора Септимия Севера, III в. н. э., Иерусалим.

Материал: прозрачное стекло.

Размер: 6 см.

Техника изготовления: моллирование.



Рис. 1.11

Скульптура

Голова римского воина.

Материал: зелёное глухое стекло.

Размер: 4 см.

Техника изготовления: моллирование с последующей механической доработкой.

Маскоты¹ Рене Лалика



Рис. 1.13 «Дух времени»

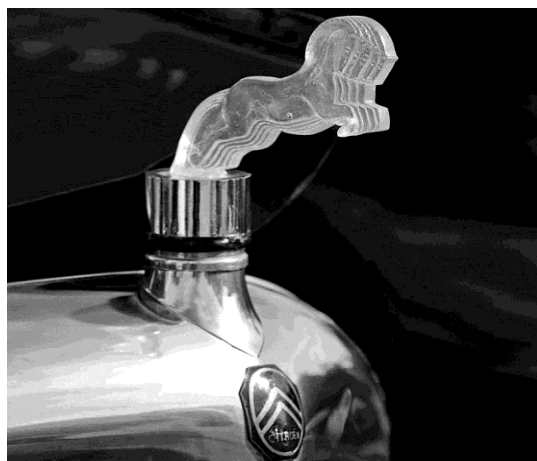


Рис. 1.12 «Пять коней». Ситроен



Рис. 1.16 «Девушка»



Рис. 1.15 «Кабан»



Рис. 1.14 «Сокол»

¹ Маскот — расположенное на передней части капота автомобиля украшение, фигурка человека, животного или объекта.



Рис. 1.17

Алтарь Рене Лалика

Церковь Сен-Матье, округ Сен-Лоран,
Джерси.



Рис. 1.18

Окно в стиле ар-деко

Церковь Святого Матфея.

Стеклянный экран из лилий.

Миллбрук, Джерси, Нормандские острова
(1934 г.).

Автор: Рене Лалик.



Рис. 1.19

Скульптура Мадонны с младенцем

Подпись Lalique France.

Изготовлено фирмой Lalique в 50-е годы.

Высота фигуры 37 см.

Основание 11,7 x 11,7 см.



Рис. 1.20

Скульптура «Сюзанна»

Размер: высота 22,7; ширина 18,2 см; глубина 5,1 см.

Материал: опалесцентное стекло.

Формованная марка R LALIQUE.



Рис. 1.21

Скульптура

Фигурная скульптура, изображающая танцующую пару.

Материал: янтарная стеклянная крошка.

Техника: Пате де вере.

Произведено: Фирма «Нанси», 2004 г.



Рис. 1.22

Скульптура «Призыв»

Автор: Daum Nancy.

Материал: стеклянная крошка.

Техника: Пате де вере.

Размер: высота 37 см; ширина 37 см.

Конец XX в., Франция.



Рис. 1.23

Геометрическая скульптура

Материал: стеклянная крошка.

Автор: Е. Laperlier.

Техника: Пате де вере.

Франция, конец XX в.

Размер: высота 102 см, вес 33 кг и 15 кг.



Рис. 1.24

Скульптура

Голова коня.

Материал: стекло, янтарная крошка.

Техника: Пате де вере.

Размер: 18 см.

Изготовитель: фирма Daum (Франция, XX в.).



Рис. 1.25

Современная скульптура

Техника: Пате де вере.

Материал: стекло, чёрная крошка.

Автор: Доменик Виал, Франция.

Размер: высота 70 см.



Рис. 1.26

Ваза

Автор: Линда Этье.

Материал: стекло, цветная крошка.

Техника: Пате де вере.

Размер: высота 30 см.

Франция, конец XX в.



Рис. 1.27

Бюст профессора Н. Н. Качалова

Автор: В. И. Мухина.

Материал: прозрачное стекло,
свинцовый хрусталь.

Техника: классическое моллирование.



Рис. 1.28

Женский торс

Автор: В. И. Мухина.

Материал: прозрачное стекло,
свинцовый хрусталь.

Техника: гутная пластика.

1947 год.



Рис. 1.29

Скульптура

Колхозница. Деталь юбилейной вазы.

Авторы: Б. Е. Каплянский и А. Л. Малахов.

Материал: прозрачное стекло.

Техника: объёмное моллирование.

50-е годы XX в.

Высота 40 см.



Скульптура

Подарочная ваза.

Авторы: Б. С. Смирнов, инженер Ф. С. Энтелис.

Материал: хрусталь, металл.

Техника: прессование, сборка.

Размер: высота 3,3 метра, вес 1200 кг.

1949 год.



Рис. 1.31

Хрустальный фонтан для павильона СССР на выставке в Нью-Йорке

Авторы: скульптор И. М. Чайков, инженер Ф. С. Энтелис.

Материал: стекло, металл.

Техника: прессование, сборка.

Исполнители: заводы «Красный Гигант» и «Автостекло».

Высота 4,2 м.

1939 год.

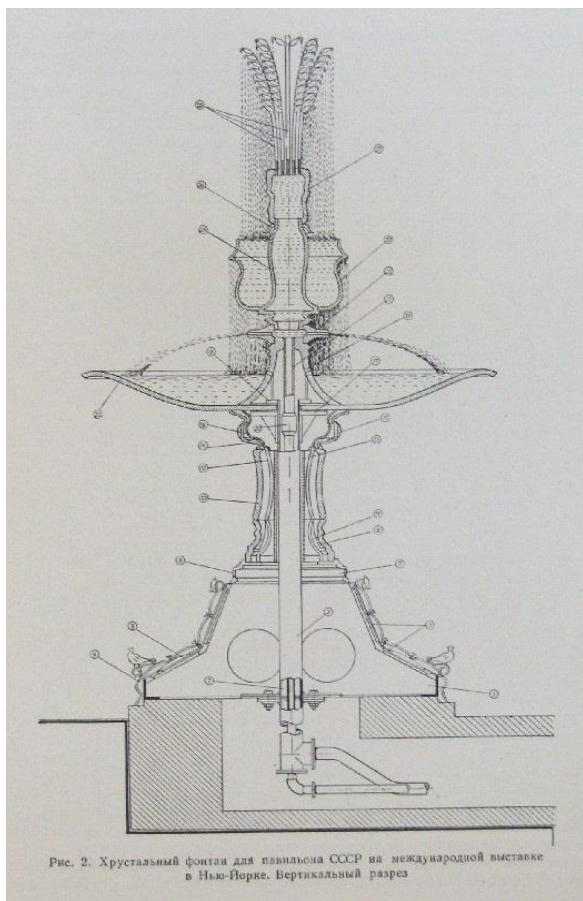


Рис. 2. Хрустальный фонтан для павильона СССР на международной выставке в Нью-Йорке. Вертикальный разрез

Рис. 1.32

Фонтан в разрезе

Таблица 2.1. Составы для моллирования стёкол

СОСТАВ	Na - Ca стекло	Листовое (оконное)	Тарное стекло (бутылки)	Хрусталь	Кинескопное	Spectrum
SiO ₂	74	75	72	62	65	70
Na ₂ O	16	16	16	2	7	18
K ₂ O	3		2	16	7	0,5
PbO				19	8	
Al ₂ O ₃		1,5	1		3	2
CaO	7	7,5	8		1,5	8
ZnO			0,5	1	0,5	1
BaO			0,5		11	0,5

Таблица 2.2. Значения термических свойств стёкол, необходимых для определения режима объёмного моллирования

Свойства	Na - Ca стекло	Листовое (оконное)	Тарное стекло (бутылки)	Хрусталь	Кинескопное	Spectrum
КТР	104	89	103	90	88	96
Термостойкость	130	160	150	100	100	150
Температура моллирования	840 - 860	930 - 950	850 - 880	830 - 860	840 - 860	850 - 870
Температура спекания						
слабое	700	730	720	710	720	710
среднее	740	770	760	750	760	750
сильное	770	820	800	770	780	770
Верхняя температура отжига, T _в	520	580	560	500	520	510
Нижняя температура отжига, T _н	370	430	410	350	370	360

Пример расчёта режима моллирования.

Дано:

тип моллирования: объёмное моллирование в закрытую форму.

Размер стеклянной заготовки для моллирования: шар Д-100 мм.

Тип моллируемого стекла: Na–Ca легкоплавкое.

Средний размер моллируемой формы — 150 мм.

Рассчитать: время процесса моллирования.

Расчёт:

Скорость прогрева стекла:

$$C = 0,3 / A^2 * dT$$

где C — скорость прогрева стекла (°C / мин).

A — половина толщины стеклянной заготовки (см).

dT — термостойкость стекла (150° для бессвинцовых стёкол и 100° для свинецсодержащих стёкол).

Время стадии прогрева:

$$t = (T_k - T_n) / C$$

где t — время прогрева стекла (°C).

C — скорость прогрева стекла (°C / мин).

T_к — значение конечной температуры нагрева (°C).

T_н — значение начальной температуры (°C).

$$C = 0,4 / (10 / 2)^2 * 130 = 2° / \text{мин}$$

Время прогрева:

$$t = (520 - 20) / 2 = 250 \text{ мин (4,2 ч)}$$

Время выдержки на верхней границе прогрева:

$$t_0 = A + 10 * A^2$$

где t_0 — время выдержки при заданной температуре (мин).

A — половина толщины изделия вместе с формой (см).

$$t_0 = 7,5 + 10 * 7,5^2 = 570 \text{ мин (9 ч).}$$

Время нагрева до температуры моллирования 860°

$$t_{\text{нагр}} = 4,2 / 4 = 1 \text{ ч}$$

Время выдержки при температуре моллирования:

$$t_{\text{выд}} = 3 \text{ ч (эмпирическое определение)}$$

Время стеклования (остывания до T отжига):

$$t_{\text{ст}} = 3 \text{ ч (эмпирическое определение)}$$

Время выдержки на верхней границе температуры отжига:

$$t_0 = A + 10 * A^2$$

где t_0 — время выдержки при заданной температуре (мин).

A — половина толщины изделия вместе с формой (см).

$$t_0 = 7,5 + 10 * 7,5^2 = 570 \text{ мин (9 ч).}$$

Скорость снижения температуры отжига с верхней до нижней границы отжига:

$$C_1 = 0,075 / A^2 * dT$$

где C_1 — скорость снижения на этапе отжига (°C / мин).

A — половина толщины изделия вместе с формой (см).

dT — термостойкость стекла (150° для бессвинцовых стёкол и 100° для свинецсодержащих стёкол).

Время стадии отжига определяется по формуле:

$$t_1 = (T_{\text{в}} - T_{\text{н}}) / C_1$$

где t_1 — время снижения температуры (°C).

C_1 — скорость снижения на этапе отжига ($^{\circ}\text{C} / \text{мин}$).

$T_{\text{в}}$ — значение верхней температуры отжига ($^{\circ}\text{C}$).

$T_{\text{н}}$ — значение нижней температуры отжига ($^{\circ}\text{C}$).

$$C_1 = 0,075 / (15 / 2)^2 * 130 = 0,17 \text{ C} / \text{мин}.$$

Время отжига (с 520° до 370°).

$$t_1 = (520 - 370) / 0,17 = 880 \text{ мин (14 ч)}.$$

Время выдержки на нижней границе температуры отжига:

$$t_2 = A + A^2$$

где t_2 — время выдержки при нижней температуре (мин).

A — половина толщины изделия вместе с формой (см).

$$t_2 = 7,5 + 7,5^2 = 63 \text{ мин (1 ч)}.$$

Скорость снижения температуры остывания изделия:

$$C_3 = 0,5 / A^2 * dT$$

где C_3 — скорость снижения при остывании ($^{\circ}\text{C} / \text{мин}$).

A — половина толщины изделия вместе с формой (см).

dT — термостойкость стекла (150° для бессвинцовых стёкол и 100° для свинецсодержащих стёкол).

Время стадии отжига определяется по формуле:

$$t_3 = (T_{\text{н}} - T_{\text{к}}) / C_3$$

где t_1 — время снижения температуры ($^{\circ}\text{C}$).

C_3 — скорость снижения при остывании ($^{\circ}\text{C} / \text{мин}$).

$T_{\text{к}}$ — конечная температура остывания ($^{\circ}\text{C}$).

$T_{\text{н}}$ — значение нижней температуры отжига ($^{\circ}\text{C}$).

Скорость управляемого остывания в печи (до 60°).

$$C_3 = 0,5 / 7,5^2 * 130 = 1,2 \text{ C} / \text{мин}.$$

Время управляемого остывания печи:

$$t_3 = (370 - 60) / 1,2 = 240 \text{ мин (4 ч)}.$$

Ответ: общее время моллирования — 48 часов.

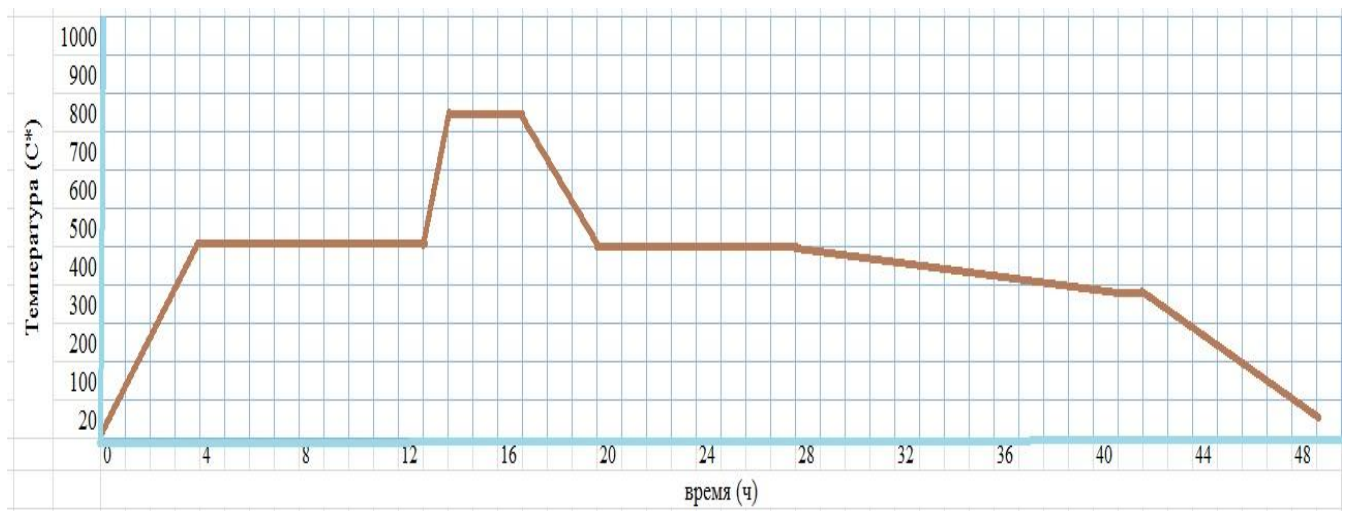


Рис. 2.1. График моллирования

Таблица 3.1. Схемы изготовления форм различной сложности и заливки воска

Характеристика модели		Вид формы	Преимущества
- гладкая тыльная сторона, - отсутствие углублений и выпуклых частей		форма открытая однозвенная	- самая простая и самая быстрая в изготовлении - литейный материал можно заливать, - литейный материал можно выравнять лопаткой или встряхиванием
- выпуклость деталей со всех сторон, - отсутствие углублений		форма открытая многозвенная	- толстостенная форма - простая в обращении - хорошо воссоздает образец, - идеально подходит для быстро отверждающихся литейных масс
- гладкая нижняя сторона, - на других сторонах глубокие выемки и мелкие детали		форма однозвенная фигурная	- хорошее копирование поверхности образца, - очень полезно для литейных материалов, которые необходимо быстро заформовать
- много мелких деталей и выпуклость частей со всех сторон		форма многозвенная, фигурная	- хорошее копирование сложных моделей, - хорошая отверждаемость, - возможность изготовления многозвенной формы

Подготовка модели:

- очистка модели;
- установка на площадке;
- смазка (при необходимости).

Инструменты и материалы:

- Материалы для изготовления обечайки.
- Восковая смазка.
- Кисть для смазки.
- Растворитель.
- Герметик для заполнения щелей.
- Вакуумная камера.
- Мешалка.
- Ёмкости, весы, фольга.
- Компаунд.
- Воск.

Подготовка материалов.

1. Взвесить компоненты компаунда в отдельных ёмкостях.
2. Смешать компоненты в одной ёмкости, в пять раз превышающей их по объёму.
3. Компоненты очень тщательно перемешать. От этого зависит качество изготавливаемых форм.
4. Приготовленную композицию подвергнуть вакуумированию. Во время этого процесса, который должен длиться около пяти минут, материал сначала пенится и увеличивается в своём первоначальном объёме в пять раз, затем возвращается к прежнему объёму.

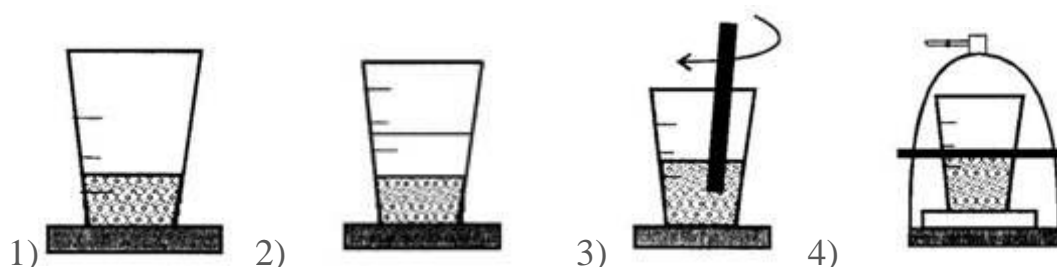


Рис. 3.1

Схема изготовления открытой простой формы.

1. Подготовить модель.
2. Подготовить обечайки. Установить их так, чтобы расстояние между моделью и стенками опоки составило не менее 10 мм, а высота их должна превышать размер модели не менее чем на 15 мм.
3. На нижней плоскости, вдоль краёв модели наложить полоски пластической массы (пластилина) и модель крепко прижать к подготовленной основе опоки.
4. Собрать стенки опоки и герметизировать щели.
5. Смазать модель и стенки опоки разделительной смазкой.
6. Подготовить компаунд и вылить его в опоку. На этом этапе посуду с силиконовой массой держать как можно ниже. Вливать медленно, чтобы масса равномерно растеклась и заполнила все щели. Вливать до тех пор, пока верхняя часть модели не покроется слоем силиконовой массы толщиной не менее 10 мм.
7. Оставить для отверждения при температуре не ниже 24° на время, указанное в инструкции компаунда.
8. Разобрать обечайки.
9. Вынуть модель из формы.

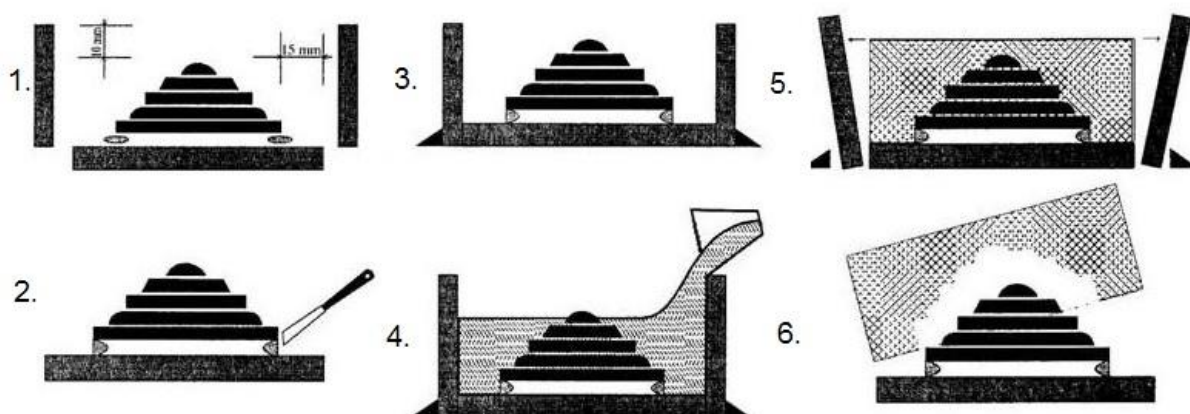


Рис. 3.2

Схема изготовления двухчастной простой формы.

1. Подготовить и установить модель.
2. Подготовить опоку. Убедиться, что модель отдалена от каждой стенки опоки на 15 мм.
3. Герметизировать щели.
4. Смазать модель разделительной смазкой.
5. Залить нижнюю половину модели гипсом. Дождаться его отверждения и обозначить замки.
6. Смазать гипс разделительной смазкой.
7. Подготовить компаунд и вылить его в опоку. На этом этапе посуду с силиконовой массой держать как можно ниже. Вливать медленно, чтобы масса равномерно растеклась и заполнила все щели. Вливать до тех пор, пока верхняя часть модели не покроется слоем силиконовой массы толщиной не менее 10 мм.
8. Оставить для отверждения при температуре не ниже 24° на время, указанное в инструкции компаунда.
9. Разобрать обечайки. Снять отвержденную половину формы. Разобрать гипсовую заливку.
10. Установить модель вверх ногами в половину формы. Установить вновь обечайку.
11. Смазать модель и поверхности формы разделительной смазкой.
12. Подготовить компаунд и вылить его в опоку. На этом этапе посуду с силиконовой массой держать как можно ниже. Вливать медленно, чтобы масса равномерно растеклась и заполнила все щели. Вливать до тех пор, пока верхняя часть модели не покроется слоем силиконовой массы толщиной не менее 10 мм.
13. Оставить для отверждения при температуре не ниже 24° на время, указанное в инструкции компаунда.
14. Разобрать обечайки.
15. Вынуть модель из формы.

16. Просверлить компаундовую форму, как показано на рис. 3.3.

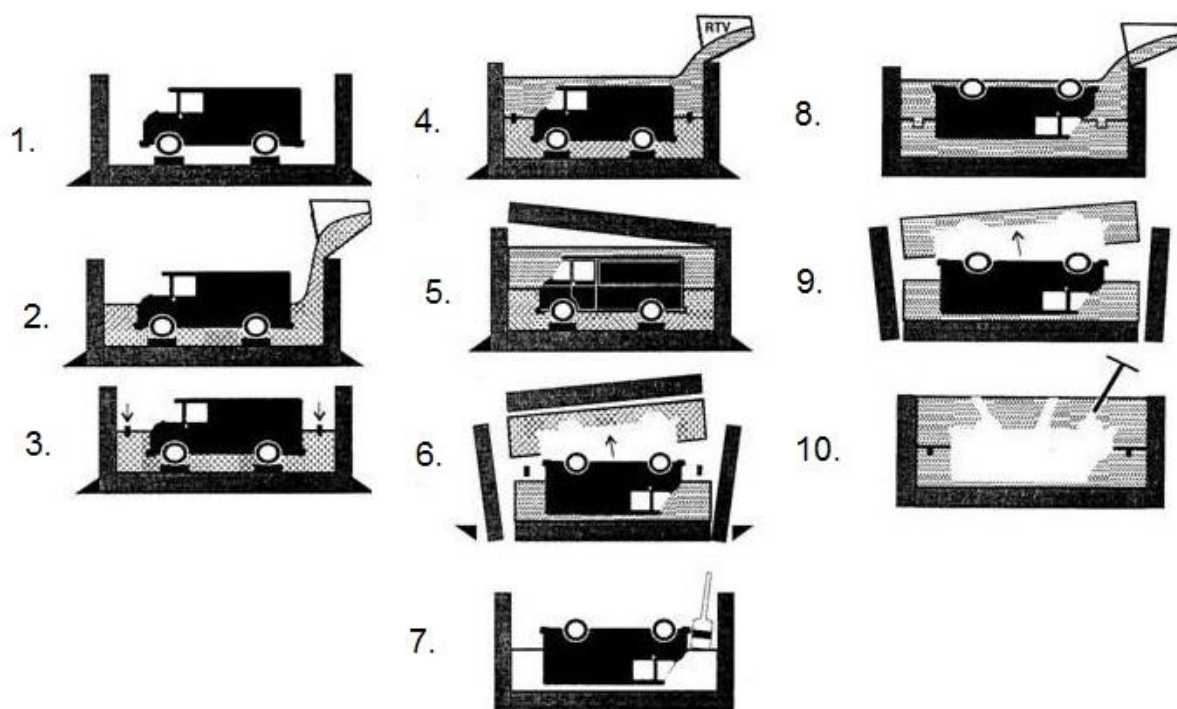


Рис. 3.3

Схема изготовления одночастной сложной формы с гипсовой коркой.

1. Подготовить модель.
2. Подготовить обечайки. Установить их так, чтобы расстояние между моделью и стенками опоки составило не менее 20 мм, а высота их должна превышать размер модели не менее чем на 25 мм.
3. На нижней плоскости, вдоль краёв модели наложить полоски пластической массы (пластилина) и модель крепко прижать к подготовленной основе опоки.
4. Собрать стенки опоки и герметизировать щели.
5. Модель завернуть в алюминиевую фольгу, обложить слоем глины толщиной не менее 1 см таким образом, чтобы исчезли замки.
6. Залить гипсом обечайку. Дождаться его отверждения.
7. Разобрать обечайку, вынуть модель, удалить фольгу и глину.
8. Просверлить гипсовую оболочку.

9. Смазать гипс и модель разделительной смазкой и собрать как показано на рисунке.

10. Подготовить компаунд.

11. Медленно вливать компаунд через литейное отверстие в гипсе, как показано на рис. 3.4. Лить необходимо до тех пор, пока силиконовая масса не появится в отверстии для воздуха.

12. Оставить для отверждения при температуре не ниже 24° на время, указанное в инструкции компаунда.

13. Разобрать обечайки.

14. Вынуть модель из формы.

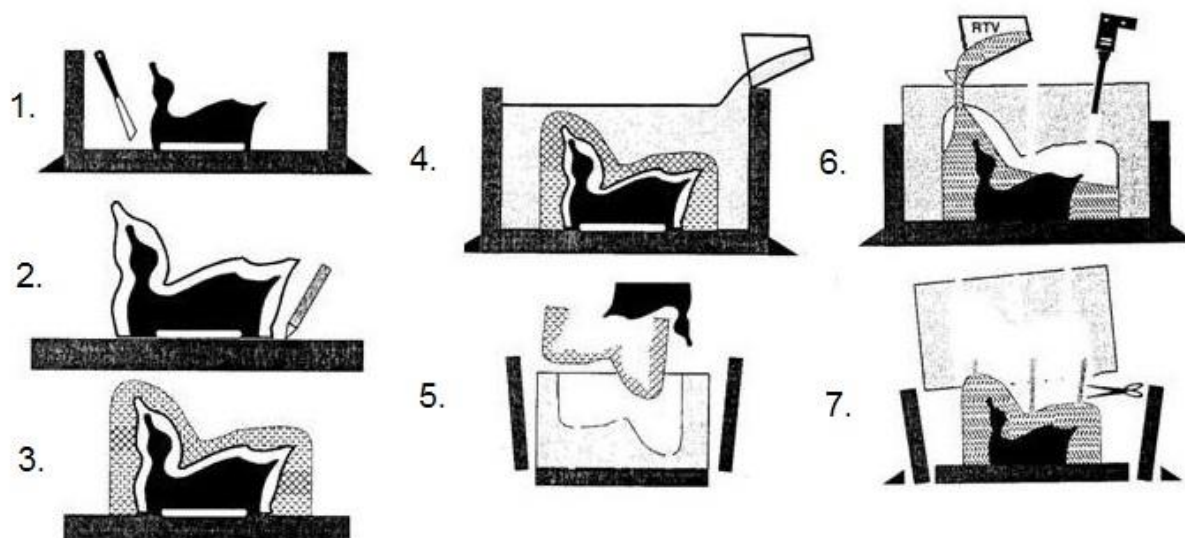


Рис. 3.4

Схема создания сложной составной формы с гипсовой коркой.

1. Подготовить и установить модель.
2. Подготовить опоку. Убедиться, что модель отдалена от каждой стенки опоки на 15 мм.

3. Герметизировать щели.

4. Смазать модель разделительной смазкой.

5. Залить нижнюю половину модели гипсом. Дождаться его отверждения и обозначить замки.

6. Смазать гипс разделительной смазкой.

7. Модель завернуть в алюминиевую фольгу, обложить слоем глины толщиной не менее 1 см таким образом, чтобы исчезли замки.
8. Залить гипсом обечайку. Дождаться его отверждения.
9. Разобрать обечайку, вынуть модель, удалить фольгу и глину.
10. Просверлить гипсовую оболочку.
11. Смазать гипс и модель разделительной смазкой и собрать, как показано на рис. 3.5.
12. Подготовить компаунд.
13. Медленно вливать компаунд через литейное отверстие в гипсе, как показано на рис. 3.5. Лить необходимо до тех пор, пока силиконовая масса не появится в отверстии для воздуха.
14. Оставить для отверждения при температуре не ниже 24° на время, указанное в инструкции компаунда
15. Разобрать обечайки.
16. Перевернуть модель и установить её как показано на рис. 3.5.
17. Повторить операции 1–15.
18. Разобрать обечайки и вынуть модель.

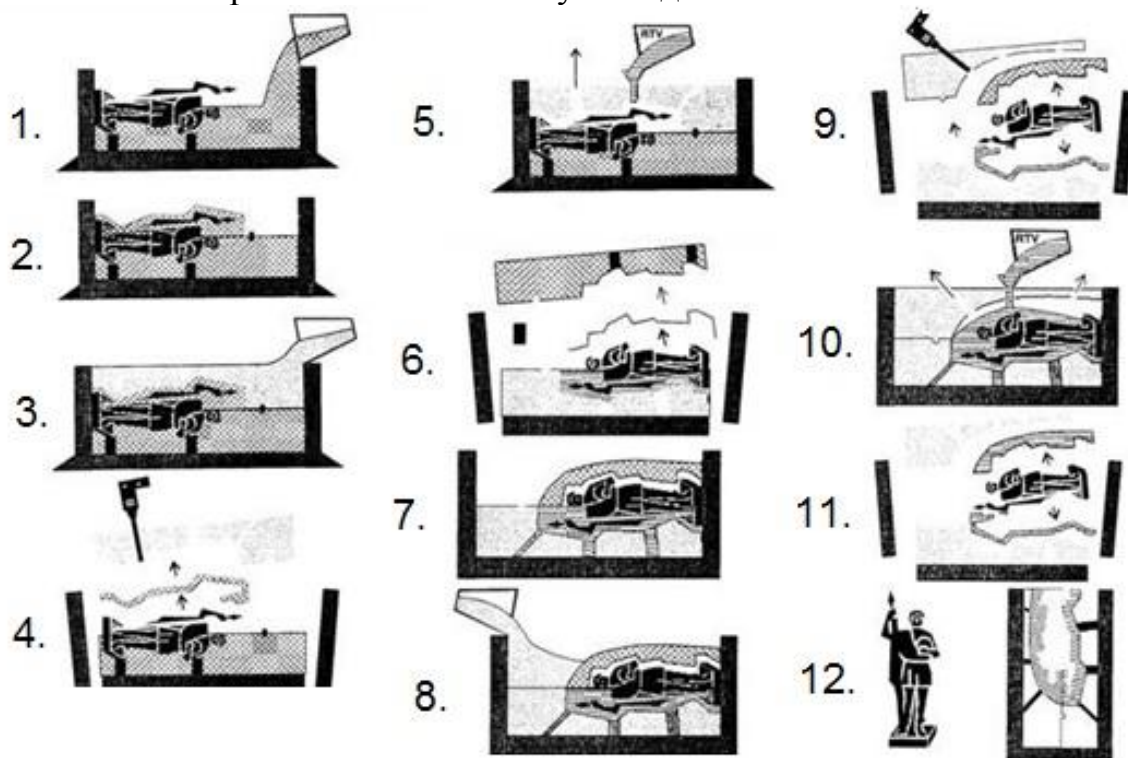


Рис. 3.5

Отливка восковых моделей

Схема заливки воска в одночастную форму.

1. Расплавить воск.
2. Форму поставить на ровную поверхность и медленно вливать литейный материал в форму, при этом ёмкость с материалом должна быть расположена как можно ближе к форме. Форму легко встряхнуть для равномерного и полного заполнения.
3. Остудить восковку.
4. Вынуть восковку из формы, слегка её деформировав.
5. Выровнять неровности по краям.

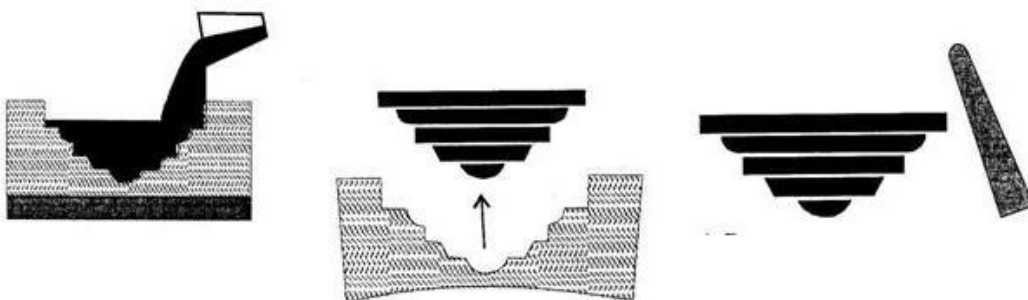


Рис. 3.6

Схема заливки воска в двухсоставную форму.

1. Расплавить воск.
2. Собрать форму и поставить на ровную поверхность. Установить грузы на форму, чтобы воск не выливался через разъем.
3. Воск медленно вливать в отверстия для литья при помощи лейки. Лить необходимо медленно до тех пор, пока материал не появится в отверстиях для воздуха. Форму легко встряхнуть, чтобы материал заполнил все щели, и не произошло образование газовых пузырьков.
4. Остудить восковку.
5. Разобрать форму и извлечь восковую модель.

6. Выровнять неровности по краям.

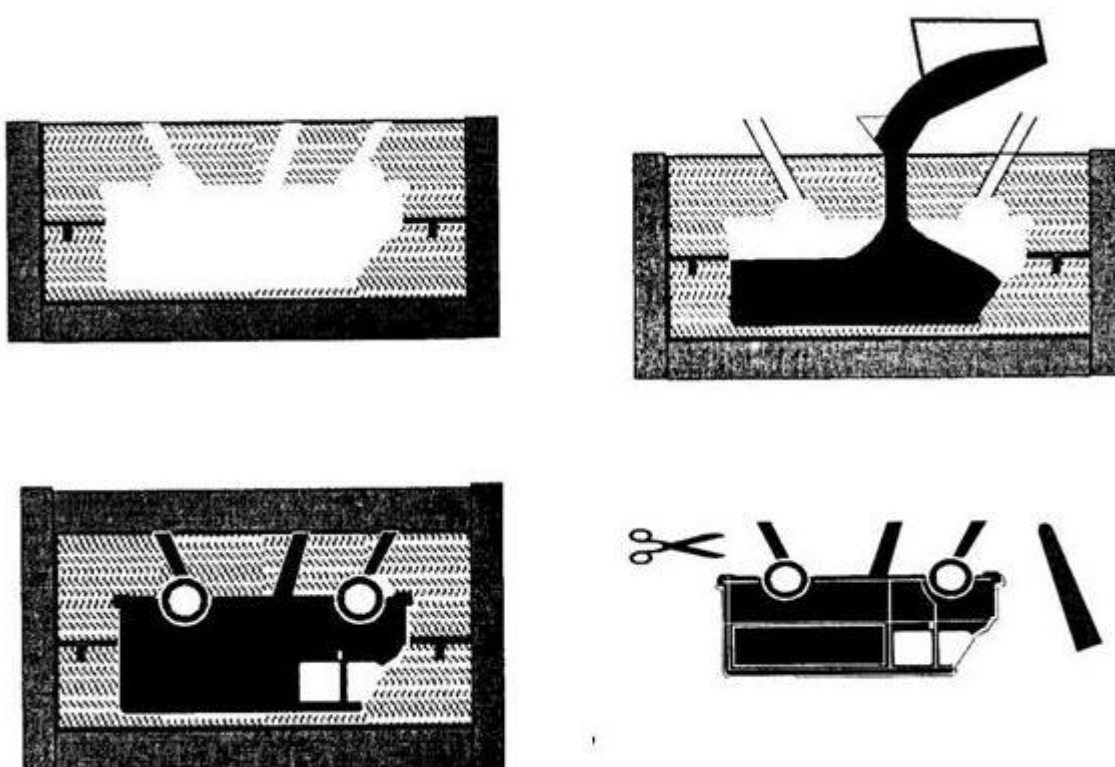


Рис. 3.7

Таблица 3.2. Схема изготовления компаундовых форм методом намазки



Подготавливаются модель и компоненты



Модель приклеивается
к основанию клеевым пистолетом



На модель наносится восковой спрей в качестве
разделительной смазки



Отмеряется компонент А (в данном случае смешение идёт согласно отмеряемым объёмам)



Отмеряется компонент В (аналогично компоненту А. Соотношение отмеряемых объёмов должно быть согласно прилагаемой инструкции)



Компоненты А и В тщательно смешиваются. Перемешивание может производиться как вручную, так и с использованием миксеров. Главное требование — тщательное перемешивание, определяемое визуально (компоненты А и В, как правило, имеют контрастные цвета). Иногда в качестве добавок используются загустители и дополнительные красители



Смесь кистью аккуратно наносится на модель. Для нанесения используются кисти или шпатели в зависимости от густоты смеси. Смесь не должна стекать. Смесь имеет ограниченное «время жизни», т. е. период, за который она удобна в нанесении. Для каждой смеси оно индивидуально и определяется инструкцией



Вокруг модели формируется слой «юбка». Она необходима для формирования горловины формы для заливки воска



После нанесения слой сохнет. Время «сушки» определяется инструкцией по применению. Визуально же смесь готова к нанесению последующих слоев, если она перестает липнуть при касании рукой



Наносится второй и третий слой. Количество слоев определяет толщину нанесения компаунда. Как правило, это от трёх до пяти слоев. Требования к нанесению и сушке те же самые, что и для первого слоя. Последний слой «сушится» не менее 12 часов



Определяются швы корки. Эти швы необходимы для формирования смыкающихся граней корок



Устанавливаются границы корок. Они формируются из пластического материала (пластилина, глины) по нанесенным швам



Наносится материал корки. В качестве материала для формирования корки используются как гипс, так и полимерные загущенные материалы. Например, эпоксидные смолы. Корка наносится послойно и поэтапно с применением правил использования материала

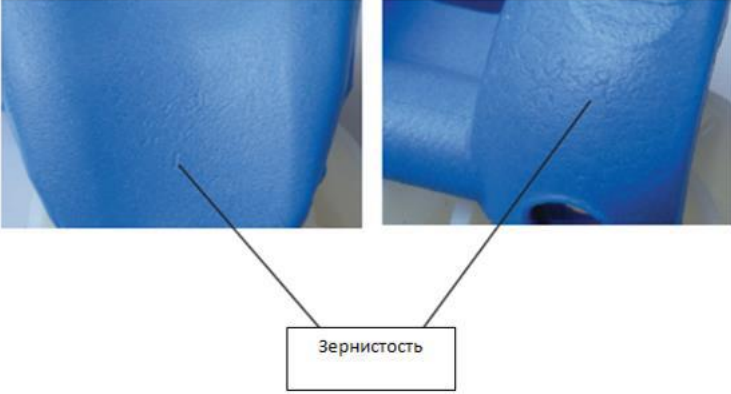


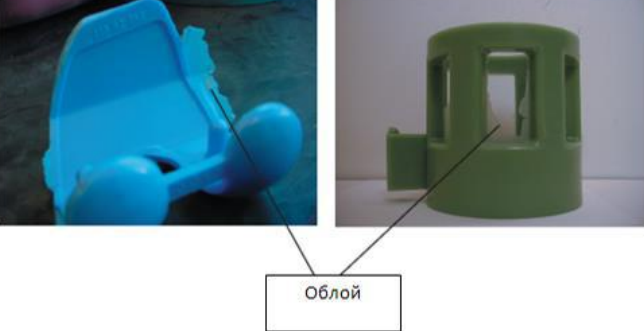
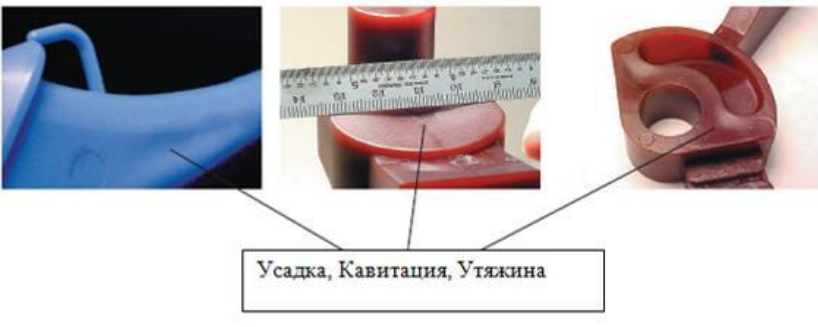
Форма готова

Таблица 3.3. Дефекты восковых моделей

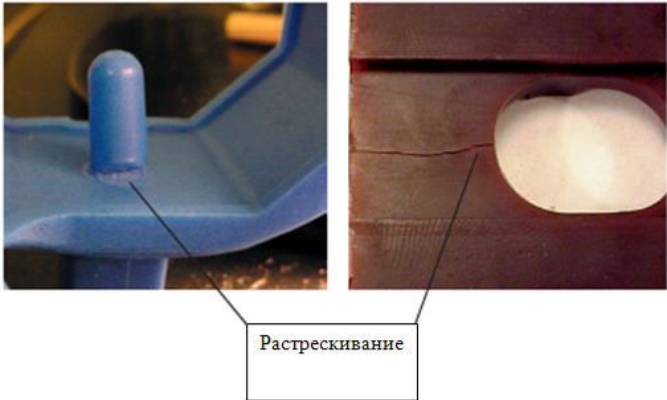
<p>Искривление тонких стенок модели</p>	
<p>Вероятная причина</p>	<p>Предлагаемое решение проблемы</p>
<p>Короткое время цикла охлаждения</p>	<p>Увеличьте время цикла. Время цикла должно быть достаточным для необходимого охлаждения модели</p>
<p>Высокая температура формы</p>	<p>Уменьшите температуру формы</p>
<p>Слишком быстрое открытие формы</p>	<p>Уменьшите скорость открывания формы</p>
<p>Горячий воск</p>	<p>Уменьшите температуру воска</p>
<p>Создание вакуума</p>	<p>Если вставка в форму расположена глухом отверстии, то его вынимать надо медленно во избежание создания вакуума. Иногда требуются отверстия для вентиляции</p>
<p>Повышенная температура на модельном участке</p>	<p>Поддерживайте необходимую и постоянную температуру на модельном участке при необходимости</p>

<p>Линии потока, морщины</p>	
<p>Вероятная причина</p>	<p>Предполагаемое решение проблемы</p>
<p>Холодный воск</p>	<p>Увеличьте температуру воска</p>
<p>Медленная скорость заливки</p>	<p>Ускорить заливку</p>
<p>Холодная форма</p>	<p>Подогрейте форму перед заливкой</p>
<p>Чрезмерная смазка формы</p>	<p>Очистите форму от лишней смазки и используйте минимум новой смазки для формы</p>

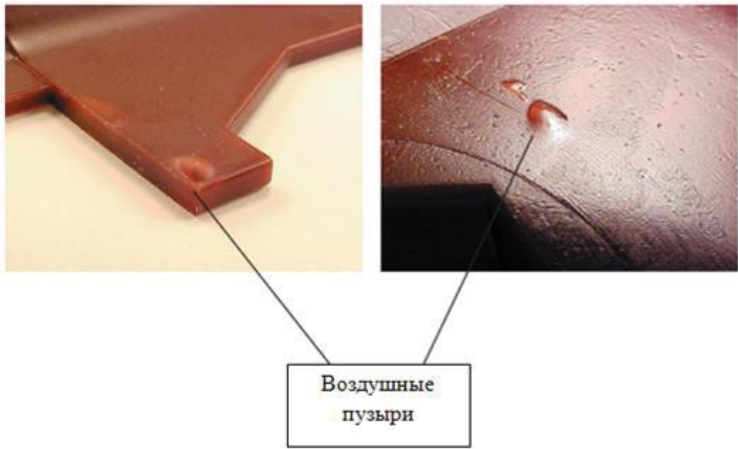
Зернистость	
Вероятная причина	Предполагаемое решение проблемы
Низкая температура воска	Увеличьте температуру воска
Медленная скорость заливки	Ускорить заливку
Холодная форма	Подогрейте перед заливкой форму
Плохая обработка поверхности в форме	Более тщательно подходите к изготовлению формы
Чрезмерная смазка пресс-формы	Очистите форму от лишней смазки и используйте минимум новой смазки для формы

Облой	
Вероятная причина	Предполагаемое решение проблемы
Горячий воск	Уменьшите температуру воска
Высокая температура формы	Уменьшите температуру формы
Неполное смыкание формы	Очистите тщательно форму. Более аккуратно её собирайте перед заливкой. Плотнее стягивайте скотчем.
Дефекты формы от износа	Изготовьте новую форму
Усадка, кавитация, ужимка	
Вероятная причина	Предполагаемое решение проблемы

Высокая температура воска	Уменьшите температура воска
Быстрая залика	Увеличьте время заливки
Неудачный выбор расположения литника	Изготовьте новую форму с другим расположением литников
Выбор неподходящего воска для данного применения	Используйте правильный воск для заливки

Образование трещин	
---------------------------	--

Вероятная причина	Предполагаемое решение проблемы
Долгое остывание в сложной форме.	Уменьшить время остывания в форме
Холодная форма	Подогрейте перед заливкой форму
Неравномерное остывание формы	Более правильно подходите к конструированию формы, особенно со сложными замками
Деформации при вынимании восковки	Будьте аккуратны при размыкании формы и извлечении изделия
Залипание воска	Недостаток смазки на поверхности. Смажьте поверхность заново
Хрупкий воск	Более тщательно подходите к выбору типа воска для заливки

Воздушные пузыри	
-------------------------	--

Вероятная причина	Предполагаемое решение проблемы
Наличие влаги в воске	Расплавьте воск. Слейте расслоившуюся влагу. Вакуумируйте расплав для удаления влаги
Быстрая заливка	Уменьшите скорость заливки

Горячий воск	Снизьте температуру воска
Влага на поверхности формы	Тщательно высушите форму перед заливкой
Излишняя смазка формы	Очистите форму от смазки и смажьте её по минимуму
Недопрессовка	
Вероятная причина	Предполагаемое решение проблемы
Холодный воск	Подогрейте воск
Холодная форма	Подогрейте форму перед заливкой
Отсутствие выпарных отверстий	Установите дополнительные выпарные отверстия

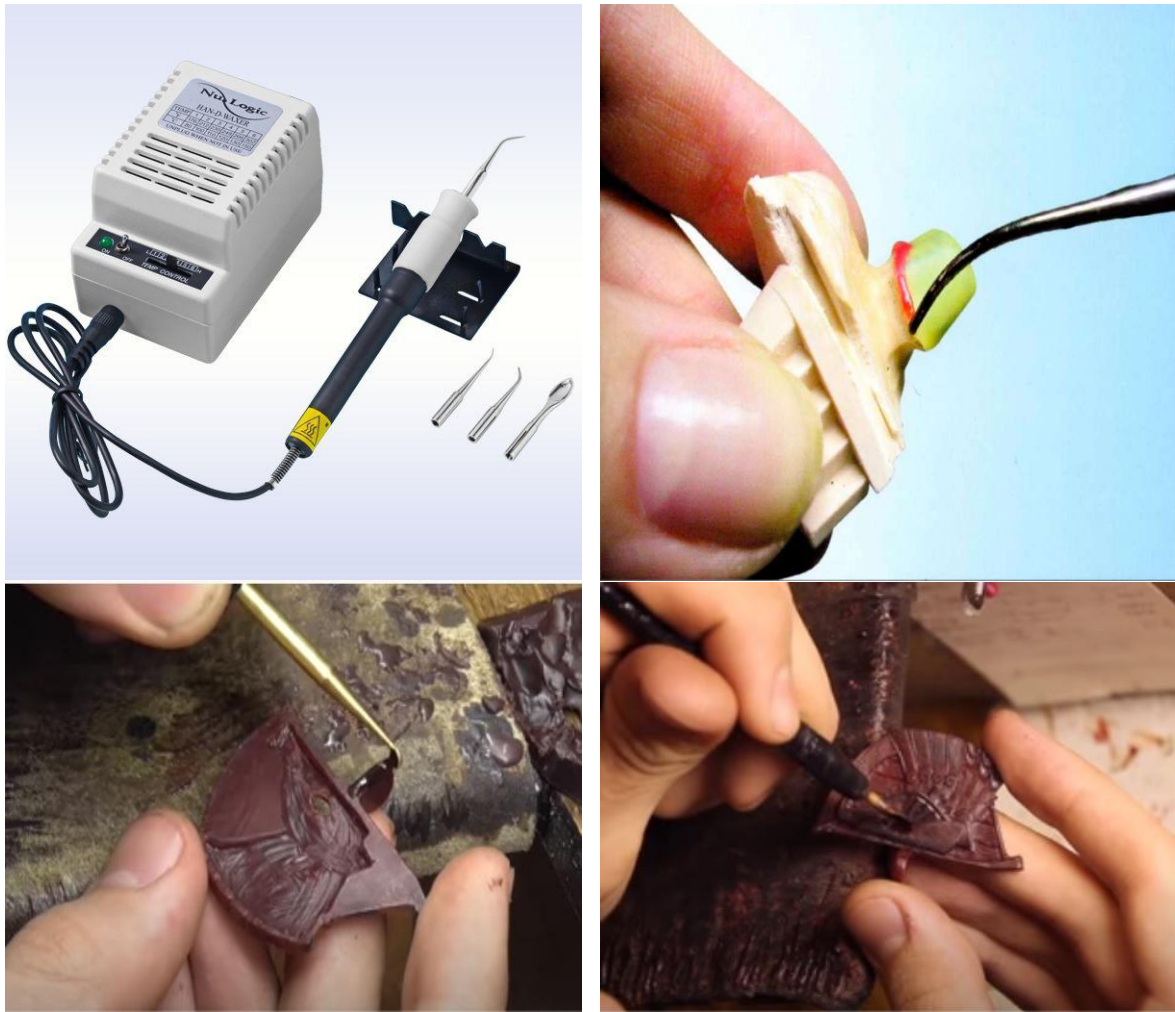


Рис. 3.8. Электрический восковой паяльник со сменными насадками и приёмы работы с электрическим восковым паяльником

Использование такого инструмента позволяет упростить и расширить творческие возможности в моделировании.

Ниже приведены основные типы формомасс, используемых в литье металла, их характеристики, а также порядок использования и особенности.

Стоит отметить, что, несмотря на ювелирную специализацию, они великолепно подходят для изготовления форм под классическое моллирование.

Таблица 3.4. Основные типы формомасс, используемых в литье металла

Наименование	Характеристика и особенности	Порядок использования, особенности
<p>Satin Cast 20 — популярный формообразователь для ювелиров</p>	<p>Малое время цикла. Плотные отливки достигаются и при применении метода центрифугирования, и при вакуумировании. Возможна быстрая прокалка</p>	<p>Для нормальных отливок, соотношение 40/100; женские кольца, изделия с кружевами и замысловатого дизайна. Для массивных отливок соотношение 38/100, мужские кольца, изделия более консервативного дизайна.</p>
<p>Kerr Cast 2000 — для золота, серебра и большинства основных металлов</p>	<p>Позволяет получить блестящую отделку при отливке. Возможна быстрая прокалка. Позволяет легко вынуть заготовку из литейной формы</p>	<p>1. Взвесьте формомассу 2. Отмерьте необходимое количество воды. Вода должна иметь температуру от 21° до 24°. 3. Перемешайте смесь вручную (30 сек) и далее механическим способом (3,5 минут). 4. Вакуумируйте формомассу в резервуаре мешалки (не более 2 мин., оптимально — 1,5 мин). 5. Разлейте формомассу в опоку. 6. Вакуумируйте формомассу в опоке (1,5 мин).</p>
<p>Satin Cast Original — для отливки сложных моделей</p>	<p>Подходит для применения в крупном литейном производстве. Широко используется при литье с камнями. Состав позволяет легко отделять литейную форму в холодной воде. Время обработки: 9–10 минут при температуре воды 22°. Разливка металла при температуре ниже 1093°.</p>	<p>7. Оставьте формомассу в опоке на 2 часа. 8. Прокалка в печи. Рабочее время определяется как время, в течение которого материал может обрабатываться перед утратой его рабочих свойств. Время высыхания (исчезание глянца) соответствует времени, когда влажная глянцевая поверхность исчезает с поверхности опоки, это происходит в течение 0,5–2 минут после рабочего времени.</p>
<p>Satin Cast Extreme — для литья с камнями</p>	<p>Отлично работает с тугоплавкими металлами. Образует высокопрочную литейную форму. Точность размеров. Гладкие глянцевые поверхности. Не допускает растрескивания. Обеспечивает получение гладкой финишной отделки поверхности. Позволяет производить заливку металла при температуре ниже 1093°.</p>	<p>Вначале необходимо смешивать вручную около 30 секунд,</p>
<p>G 400 — для получения высокоточных отливок из алюминия</p>	<p>Применяется также при литье других металлов. Эта формовочная смесь с низким соотношением вода/порошок (28/100) обеспечивает</p>	<p>Вначале необходимо смешивать вручную около 30 секунд,</p>

	<p>контролируемое расширение. Безукоризненные поверхности. Низкая температура разливки</p>	<p>используя лопатку для смешивания или резиновый шпатель. Время смешивания должно быть минимум 2,5 минуты и может быть увеличено до 4–5 минут, если существует неиспользуемое рабочее время формомассы. После смешивания смесь необходимо вакуумировать в течение 1 минуты. При вакуумировании происходит увеличение объёма смеси. После вакуумирования опоку оставляют в покое на 1–2 часа для полного затвердевания</p>
<p>Opticast — для отливки сложных моделей</p>	<p>Состав позволяет легко отделять литейную форму в холодной воде. Время обработки: 9–10 минут при температуре воды 22°. Обеспечивает возможность разливки металла при температуре ниже 1093°</p>	
<p>Platinite — для жаропрочных сплавов, включая нержавеющую сталь</p>	<p>Образует высокопрочную литейную форму. Обеспечивает точность размеров. Обеспечивает получение гладкой финишной отделки поверхности. Не допускает растрескивания</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пропорция 34 мл воды на 100 г смеси. Температура воды 21–27°. 2. Перемешивание начинают вручную для уменьшения пыли 30 секунд. 3. Далее перемешивать вручную или миксером 12 минут с малой скорости. По окончании раствор должен хорошо переливаться и быть текучим. 4. Поместить под вакуум на 25 сек до закипания. 5. Заполнение опоки. 6. Вакуумирование с вибрацией 90 секунд. 7. Оставить в покое на 16 часов. Для ускорения можно использовать вентилятор и настольную лампу. 8. Поместить в печь для
<p>Platinite PT — для ювелирных изделий из платины</p>	<p>Чёткое воспроизведение деталей. Образует высокопрочную литейную форму. Точность размеров. Гладкие глянцевые поверхности. Не допускает растрескивания. Обеспечивает получение гладкой финишной отделки поверхности</p>	

		выжигания воска и прокалки
Americast — для ювелирного производства	Составы формомасс позволяют легко отделять литейную форму в холодной воде. Температура прокалки не выше 732°. Шестичасовой цикл выжигания для опок 2,5x2,5 дюйма.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пропорция 38–40 мл воды на 100 г смеси. Температура воды 24–29°. Холодная вода увеличивает рабочее время формомассы, которое находится в пределах 7,5–9 минут. 2. Перемешивание начинают вручную для уменьшения пыли 30 секунд. 3. Далее перемешивать вручную или миксером 3 минуты, начиная с малой скорости. 4. Поместить формовочную массу под вакуум до закипания, вакуумировать 1 минуту. 5. Заполнение опоки. 6. Вакуумирование 1,5–2 минуты. 7. Оставить в покое минимум на 1,5–2 часа. 8. Поместить в печь для выжигания воска и прокалки.
Econo-Vest — формовочная смесь для ювелирного производства экономкласса		
Ultra-Vest — для ювелирного производства	Формовочная смесь с высоким соотношением вода/порошок (до 42/100). Низкая температура разлива. Температура прокалки — 750°	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пропорция 39–40–42 мл воды на 100 г смеси. Температура воды 22–29°. Рабочее время формомассы находится в пределах 8,5 минут. 2. Перемешивание начинают вручную 30 секунд. 3. Далее, перемешивать миксером 3 минуты. 4. Поместить формовочную массу под вакуум до закипания, вакуумировать не более 2 минут. 5. Заполнение опоки. 6. Вакуумирование с вибрацией 1,5 минуты. 7. Оставить в покое минимум на 1–2 часа. 8. Поместить в печь для выжигания воска и прокалки.
GOLD STAR ULTIMA	Можно использовать при литье металлов, Tпл < 1300°. Максимальная температура опоки 850° используется при работе с высокотемпературными	<p>Общие рекомендации GOLD STAR ULTIMA, XXX, XL, 21 и INVESTRITE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Правильно рассчитайте соотношение формовочной массы и воды.

	<p>сплавами, а также при прокатке моделей из пластика.</p> <p>Исключительное качество при работе с обычными сплавами</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Температура компонентов должна быть 20°–22°. • Время смешивания и заливки в опоки не должно превышать 8–9 минут.
GOLD STAR XXX	<p>Формовочная смесь, выпускаемая с 2003 года для современных литевых машин с избыточным давлением.</p> <p>Высокая газопроницаемость</p>	<ul style="list-style-type: none"> • После заливки опок оставьте их в покое на 1,5–2 часа. • Соблюдайте рекомендованный цикл прокатки. • Температуры сплава и опоки должны быть максимально низкими.
GOLD STAR XL	<p>Формовочная масса для всех видов литевых машин.</p> <p>Возможность быстрой 7-часовой прокатки опок весом менее 2 кг. Для GOLD STAR формовочный цикл не должен превышать 8–9 минут, соотношение формовочный порошок/вода равно 100/40 или 100/38</p>	<ul style="list-style-type: none"> • После литья оставьте опоку остывать на 20–25 минут при комнатной температуре. <p>Ручное смешивание.</p> <p>Взвесьте порошок. Налейте нужное количество воды</p> <p>Сначала налить воду. Затем засыпьте порошок.</p> <p>Смешивать вручную или миксером 3 минуты.</p>
GOLD STAR 21	<p>Хорошие характеристики для небольших производств, использующих центробежные и вакуумные литевые машины.</p> <p>Невысокая цена</p>	<p>Первичное вакуумирование — 2 минуты.</p> <p>Заполните смесь опоку.</p> <p>Повторное вакуумирование — 2 минуты.</p> <p>Оставить опоки в покое на 1,5–2 часа.</p>
INVESTRITE	<p>Формомасса экономкласса для производств, занимающихся литьем бронзы, латуни, сплавов с малой долей серебра</p>	<p>Автоматическое смешивание.</p> <p>Установите опоки в вакуумную камеру.</p> <p>Залейте все опоки в течение 1–2 минут.</p> <p>Оставить опоки в покое на 1,5–2 часа.</p>
EUROVEST — формовочная масса экономкласса для литья бронзы, латуни, нейзильбера, мельхиора	<p>Подходит для серебра и золота до 585 пробы. Диапазон соотношений масса/вода 100/38–100/40.</p> <p>Рабочий цикл при 22° 8–9 минут.</p> <p>Время первичного схватывания: 10–12 минут.</p> <p>Термическое расширение при 750° 0.72%.</p> <p>Расширение через 2 часа после схватывания: 0.43%.</p> <p>Объём массы из 1 кг порошка: 795 мл</p>	<p>Инструкция по подготовке опок</p> <p>Нормальное литье: 100/38. 1 кг массы на 380 мл воды.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отвесить 1 кг формовочной массы. 2. Отмерить 380 мл воды. 3. Налить воду в ёмкость. 4. Добавить массу к воде. 5. Перемешивать 3,5–4 минуты. 6. Вакуумировать ёмкость 1,5–2 минуты. 7. Залить в опоки.

<p>ARTCAST — для литья больших художественных скульптурных композиций или их частей из бронзы, латуни или серебра</p>	<p>Формовочная масса рассчитана на отливку форм весом до 150 кг с использованием технологии литья по выплавляемым моделям. Обладает устойчивостью при отливке форм большого размера; легко перемешивается и вакуумируется в больших количествах. Соотношение масса/вода: 100/38. Рабочий цикл при 22°: 8–9 минут. Время первичного схватывания: 10–12 минут. Термическое расширение при 750°: 0.75%. Расширение через 2 часа после схватывания: 0.45%. Объем массы из 1 кг порошка: 790 мл</p>	<p>8. Вакуумировать опоки 1,5–2 минуты. 9. Дать отстояться 2 часа. 10. Поместить в печь.</p> <p>Тонкие отливки: 100/40. 1 кг массы на 400 мл воды.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отвесить 1 кг формовочной массы. 2. Отмерить 400 мл воды. 3. Налить воду в ёмкость. 4. Добавить массу к воде. 5. Перемешивать 5–6 минут. 6. Залить в опоки. 7. Вакуумировать опоки 1 минуту. 8. Дать отстояться 2 часа. 9. Поместить в печь
<p>CLASSIC — для всех металлов, особенно 18 кт золота и тонкой филигранной работы</p>	<p>Повышенная устойчивость к термоудару во время обжига и проливки. Диапазон соотношений масса/вода — 100/38–100/40. Рабочий цикл при 22° 8–9 минут. Время первичного схватывания 10–12 минут. Термическое расширение при 750° 0,73%. Расширение через 2 часа после схватывания 0,45%. Объем массы из 1 кг порошка: 795 мл</p>	
<p>STONECAST — для литья с камнями</p>	<p>Формовочная масса со специальными свойствами, предохраняющими камни от воздействия температуры во время цикла отжига. Ювелир может закреплять камни в восковую модель, увеличивая таким образом производительность. Масса обеспечивает тепловую защиту для бриллиантов при температуре опок вплоть до</p>	<p>Температура используемой воды будет влиять на время застывания пасты, температура массы должна быть 22°. Возможно, потребуется увеличить температуру исходной воды для того, чтобы достичь правильной температуры готовой пасты.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Точно отмерить правильные пропорции порошка и воды. 2. Добавьте порошок в воду и

	<p>630°; понижение вязкости шликера и быстрое схватывание увеличивают прочность опок. Соотношение масса/вода 100/38. Рабочий цикл при 22° 8–9 минут. Время первичного схватывания 10–12 минут. Термическое расширение при 750° 0,73%. Расширение через 2 часа после схватывания 0,45%. Объём массы из 1 кг порошка 795 мл</p>	<p>перемешайте рукой в течение 30 секунд, убедитесь, что весь порошок намок и комки не налипли на стенки емкости. 3. Смешивайте пасту в автоматическом режиме последующие 2 минуты (зависит от времени застывания). Заметьте, что из-за химического состава используемой воды, время застывания может увеличиться и, больше времени необходимо для цикла смешивания, но не для цикла вакуумирования. 4. Вакуумируйте пасту в ёмкости для смешивания в течение 90 секунд или до тех пор, пока не «вскипит». 5. Разлейте пасту в опоки и вакуумируйте 2–2,5 минуты. Формомасса STONECAST даёт очень жидкий шликер, это специфика продукта: не изменяйте пропорцию масса/вода</p>
<p>ASTROVEST — формовочная масса для литья платины и нержавеющей стали</p>	<p>Устойчивые результаты литья, получаемые на этой формовочной массе, позволяющей точно и с максимальной скрупулезностью отображать самые мельчайшие детали модели. Для приготовления смеси используйте воду, не содержащую следов масел. Диапазон соотношений масса/вода 100/28 — 100/29. Рабочий цикл — 5–6 минут. Время застывания — 15–25 минут</p>	<p>Температура порошка формомассы и воды должны быть 22°. Размешайте смесь вручную, разомните все большие комки. Размешайте формовочную смесь механически на умеренной скорости в течение 1,5–2 минут. Подвергайте полной вакуумной обработке до тех пор, пока содержимое ёмкости не поднимется и не сожмётся. Выдерживайте вакуум 30 секунд. Когда формомасса ASTROVEST в правильных пропорциях смешана с водой, может показаться, что шликер более плотный и вязкий, чем другие традиционные формомассы. Не следует добавлять воду для разбавления: готовый шликер будет достаточно легко течь, несмотря на его кажущуюся</p>

		<p>вязкость. Затем нужно наполнить шликером опоку. Вибрация (постукивание) опоки при заполнении снизит количество воздуха в залитой опоке. Вакуумируйте 45–60 секунд. Избыточное вакуумирование будет вызывать преждевременное застывание шликера. Заполните опоку шликером до верхнего края и оставьте на 2 часа, чтобы шликер застыл перед проведением операций по удалению воска и отжигу</p>
<p>INDUSTRIAL «А» — промышленная формовочная масса для литья по выплавляемым моделям всех цветных металлов</p>	<p>Подходит для литья тонкостенных изделий сложной формы, которые невозможно изготовить литьем в кокиль или другим способом; медленно остывает после отливки, что обеспечивает однородность структуры и механических свойств отливок. Соотношение порошок/вода — 100/28. Рабочий цикл при 22° — 6 минут. Время первичного схватывания — 8 минут. Прочность через 90 мин после схватывания — 0,68 Н/мм². Термическое расширение при 750° — 0,5%. Расширение через 2 часа после схватывания — 0,72%. Объем массы из 1 кг порошка 510 мл</p>	

Таблица 3.5. Фоторяд стадий процесса изготовления формы для классического моллирования, а также самого процесса моллирования

 <p>1. Установка и крепление модели</p>	 <p>2. Опока для формы</p>
 <p>3. Установка модели в опоку</p>	 <p>4. Герметизация щели опоки</p>
 <p>5. Установленная опока</p>	 <p>6. Установка спиц для выпаров</p>



7. Взвешивание воды



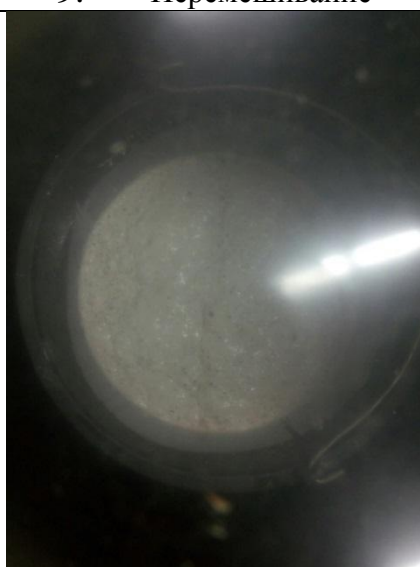
8. Взвешивание формомассы



9. Перемешивание



10. Установка в вакуумную камеру



11. «Кипение» в вакууме



12. Показание вакуумметра



13. Заливка опоки



14. Залитая опока



15. Опока после вытопки воска. Вид сверху



16. Прожженная опока, установленная в печь



17. Стекло, используемое для моллирования



18. Стекло, загруженное в литник формы



19. Форма со стеклом после окончания процесса моллирования



20. «Вскрытие» формы после моллирования. 1 Этап



21. «Вскрытие» формы после моллирования. 2 Этап



22. «Вскрытие» формы после моллирования. 3 Этап



23. Стекла́нная модель, извлечённая из формы



24. Очищенная модель

Глоссарий

1. Ангидрид (греч. an — отрицательная частица и hýdōr — вода) — химическое соединение какого-либо элемента с кислородом, которое можно получить, отнимая воду от соответствующей кислоты. В данном случае подразумевается обезвоженное соединение.

2. Аморфные вещества (др.-греч. ἄ — не, μορφή — вид, форма) — конденсированное состояние веществ, атомная структура которых имеет ближний порядок и не имеет дальнего порядка. В отличие от кристаллов аморфные вещества не затвердевают. Аморфные вещества не имеют определённой точки плавления: при повышении температуры аморфные вещества постепенно размягчаются и выше температуры стеклования (T_g) переходят в жидкое состояние.

3. Вакуумирование — термин, используемый для характеристики различных процессов, осуществляемых в вакууме. Например, термин вакуумирование используется в моделировании и обозначает процесс дегазации материала перед его отливкой. Способ вакуумирования считается особо эффективным, т. к. позволяет удалить из материала растворённые в нем газы и таким образом улучшить его качество.

4. Выпар — технологическое отверстие в форме для заливки стекла или металла, обеспечивающее выход выдавливаемых из формы паров или газов.

5. Вязкость — свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

6. Гутная техника — метод формования изделий из стекла совокупностью ряда специфических ручных приёмов обработки горячего стекла: выдувание (в форму и без форм), лепка, сплавление различных деталей, горячая отделка края, рифления, получение накладных цветных

слоёв (нацветов), узоров из цветных пятен, нитей, лент и т. п. При этом цикл операций производится непосредственно возле стекловаренной печи. Произошло от немецкого «der Hütte» — хижина, шалаш, горный завод, печь. Возможно более древнее происхождение – от латинского «gutta» — капля. Так называли в Западной Европе небольшие стекольные производства. В современном значении гута — часть стекольного предприятия, где расположены стекловаренные печи и происходит варка стекла и выработка стеклянных изделий.

7. Диспергированный воск — воск, находящийся в мелкодисперсном состоянии внутри жидкости его не растворяющей (например, вода, спирт или эфир). В данном случае используется для распыления из аэрозольных баллонов.

8. Ингибирование — замедление химического процесса под действием примесей или специально вводимых реагентов. В данном случае нежелательный процесс замедления отвердевания компаунда.

9. Компаунд — полимерный материал с добавками наполнителями или без них, используемый в качестве отверждающегося материала. В данном случае эластичный материал, используемый для изготовления форм для отливки воска.

10. Кристаллизация — (греч. Κρύσταλλος первоначально — лёд, в дальнейшем — горный хрусталь, кристалл) — процесс образования кристаллов из газов, растворов, расплавов или стёкол.

11. Кристаллическое вещество — твёрдое вещество, у которого атомы или молекулы образуют правильную упорядоченную решетку.

12. Миллефиори — (итал. *millefiori* — тысяча цветов) — разновидность мозаичного стекла, как правило, с цветочным узором. Поверхность готового изделия напоминает цветущий луг, чем и объясняется название (рис. 4.1).



Рис. 4.1

13. Литник — это рабочий элемент литейной формы, предназначенный для литья металла или моллирования стекла.

14. Модифицирующие оксиды — оксиды щелочных и щелочноземельных металлов, модифицирующие свойства стекла, в данном случае влияющие на его вязкость.

15. Моллирование (лат. *mollio* — размягчаю, плавлю) — технология формовки промышленных и художественных изделий из нагретого стекла.

16. Напряжение в стекле — избыточные молекулярные силы, возникающие в результате неправильного отжига стекла и приводящие к его спонтанному саморазрушению.

17. Обечайка — ограждение, обеспечивающее определённые формы при заливке компаунда или формообразующей смеси.

18. Опока — металлическая цилиндрическая оболочка, используемая при изготовлении наружного каркаса формы для литья металла или моллирования стекла.

19. Отжиг стекла — это процесс медленного охлаждения стекла, нужный для снятия внутренних напряжений в стекле после его формирования в разогретом состоянии. Процесс может осуществляться в печи с контролируемой температурой. Стекло, не прошедшее отжиг, трескается или разрушается при небольших изменениях температуры или слабых механических воздействиях.

20. Переохлажденное состояние жидкости — жидкость, имеющая температуру ниже температуры кристаллизации при данном давлении.

21. Пиксиды — коробочка с крышкой для хранения украшений, пряностей, мазей или порошков. Известное со времён эллинизма название происходит от греческого слова *ρῦχος*, обозначающего самшит, из которого коробочки изначально вытачивались.

22. Протомодель — прототип модели, используемый в качестве исходного образца для создания компаундовых форм для литья воска.

23. Птица Ба — концепция души в представлении древних египтян, представляемая птицей, определяется философскими и религиозными воззрениями.

24. Пуаз — единица динамической вязкости в системе единиц СГС.

25. Стеклодувная трубка — инструмент, используемый мастером-выдувальщиком при ручном способе выдувания стекла.

26. Стеклообразующие оксиды — оксиды, которые образуют стёкла самостоятельно, без присутствия других «модифицирующих» оксидов.

27. Плотность по шкале Шора — один из методов измерения твёрдости материалов. Как правило, используется для измерения твёрдости относительно мягких материалов, обычно — полимеров: пластмасс, эластомеров, каучуков и продуктов их вулканизации.

28. Теплоёмкость стекла — количество теплоты, поглощаемой стеклянным объектом в процессе нагревания на 1 °С, способность материальных тел проводить энергию (теплоту) от более нагретых частей тела к менее нагретым частям тела путём хаотического движения частиц атомов и молекул

29. Pate le Vere — способ изготовления изделий из стекла из стеклянной пасты, возникший в Древнем Египте и возрождённый в конце XIX в. во Франции.

Козицын Иван Петрович

**ОБЪЁМНОЕ МОЛЛИРОВАНИЕ
СТЕКЛА**

Учебно-методическое пособие

Редактор К. И. Серёгина

Координатор Редакционно-издательской группы О. Ф. Никандрова

Подписано к печати 12.10.2020 г. Формат 60x84/16
Усл. печ. л. 8.6. Печать офсетная. Бумага офсетная
Отпечатано в типографии ООО «Турусел».
197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 38
toroussel@gmail.com
Заказ № от Тираж 100 экз.