



# Производственная мастерская «Агни»

Прокалка, обжиг, фьюзинг, моллирование  
печи для мастерских и производственных предприятий



## Моллирование - выдержка с [glass-furniture.ru](http://glass-furniture.ru)

**Моллирование** - технологически сложный процесс придания изделию из стекла криволинейной формы в горизонтальной плоскости путем нагрева и последующего охлаждения.

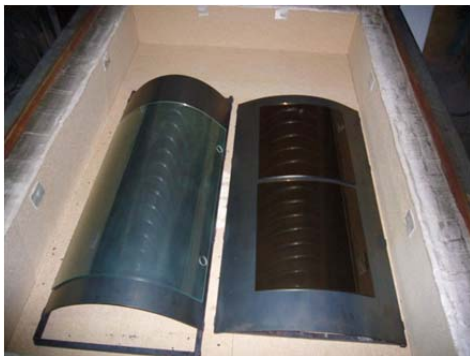
Процесс изгибания (моллирования) происходит в печи при температуре 550-650°C. Для формирования заданной формы изготавливается металлическая матрица. Плоское листовое стекло укладывается на нее, и при достижении температуры пластичности, под собственным весом, принимает геометрию матрицы.



Процесс моллирования длится от 2 до 20 часов, в зависимости от толщины стекла и конфигурациигиба.

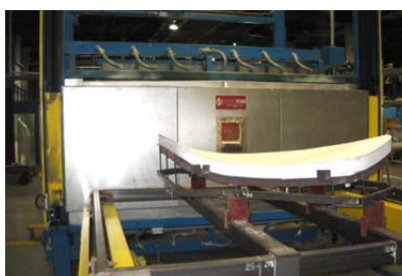
Минимальный радиусгиба зависит от толщины стекла.

Для стекла 4 мм этот радиус составляет 50 мм, для стекла 10 мм – 150 мм. Возможно также конусное моллирование.



Самым ответственным этапом является процесс охлаждения стекла. Правильный график режима охлаждения определяет отсутствие внутренних напряжений в стекле. Наличие этих напряжений может привести к самопроизвольному разрушению изделия в процессе эксплуатации. Одним из основных показателей качества изделия являются минимальные оптические искажения стекла.

Формы бывают разные.



Неметаллические бывают из:

- гипса с добавками
- каолина
- жаропрочного цемента
- керамические

Металлические, как правило сделаны из нержавеющей стали и подразделяются на несколько типов:

- сплошная, то есть из цельно-листовой нержавеющей стали с заданным радиусом

# Производственная мастерская «Агни»

## Прокалка, обжиг, фьюзинг, моллирование печи для мастерских и производственных предприятий

- трубная с заданным радиусом
- трубная с изменяемым радиусом

**Начнем с гипсовых.** Очень часто специалисты, работающие с глиной или другими похожими материалами, используют гипс для изготовления различных форм, а также слепков. Гипс очень легко найти, он распространен и недорог, а также с ним достаточно легко работать. Но для изготовления стеклоформ, гипс не может использоваться в чистом виде, так как он не обладает повышенной термостойкостью.

Для того чтобы увеличить стойкость гипса к воздействию высоких температур при нагревании, необходимо тщательно его смешать с одним или несколькими другими материалами, более устойчивыми при температурах формования стекла. Оптимально использовать в смеси с гипсом песок, поскольку он состоит преимущественно из кварца, который очень устойчив к воздействию высоких температур. Полученные таким образом стеклоформы, выполненные из гипсопесчаной смеси, не нуждаются в дополнительном покрытии глазурью, предотвращающей прилипание стекла к форме. Поэтому такие формы чаще всего используют при технологиях печной и стекольной отливки, отекания.

**Гипсопесчаные стеклоформы** наряду с многими преимуществами, имеют и недостатки. Это в первую и главную очередь относится к их созданию — это достаточно сложный и трудоемкий процесс по сравнению с созданием форм из других материалов. Создание форм требует от мастера аккуратности и терпения.

**Каолиновые формы** используются в основном для фьюзинговых изделий. И формы из каолина по праву считаются одними из самых лучших и долговечных. Благодаря высокому качеству готовой продукции, доступности и дешевизне белая глина пользуется популярностью и у промышленных производителей форм. Как самодельную, так и покупную стеклоформу из каолина перед применением нужно полностью высушить, а рабочую поверхность покрыть глазурью для предотвращения прилипания стекла.

Следует помнить, что коэффициент теплового расширения глины меньше, чем у стекла. Поэтому глиняные формы рекомендуется использовать только при отекании в стеклоформу. Отекание по внешней стороне каолиновой стеклоформы может привести к стрессу стекла из-за разницы коэффициентов теплового расширения (при охлаждении стекло будет «сжиматься» сильнее, чем материал формы). Кроме того, при нагреве нужно дополнительно замедлять рост температуры после достижения 573°C, а при охлаждении дополнительно замедлять снижение температуры до достижения 573°C. Необходимость этого обусловлена изменением кристаллической модификации кварца при указанном значении температуры.

**Цементные формы.** Для изготовления стеклоформ подходят три типа цемента:

- термостойкий глиноземистый
- водостойкий контактно-конденсационный
- термо- и водостойкий известково-глинистый цемент.

Любой цемент продается в виде сухой смеси, к которой при замешивании добавляется вода. Обычно из цемента делают формы для отекания и работы в технике *pate de verre*.



# Производственная мастерская «Агни»

## Прокалка, обжиг, фьюзинг, моллирование печи для мастерских и производственных предприятий

При изготовлении стеклоформ нужно помнить, что цемент имеет склонность «схватываться» с шаблоном, поэтому последний нужно всегда покрывать мыльным раствором, предотвращающим схватывание.

Глиноземистый цемент имеет меньшую плотность, чем другие типы цемента. Стеклоформы, изготовленные из глиноземистого или контактно-конденсационного цемента, обязательно нужно покрывать глазурью для предотвращения прилипания стекла. А вот формы, изготовленные из известково-глинистого цемента, в этом не нуждаются. Более того, этот материал позволяет лучше, чем другие виды цемента, передать форме мелкие детали шаблона

### **Изготовление формы**

**Из цельнолистого металла** формы, как правило изготавливаются из нержавеющей стали, но некоторые используют и черный металл. Изготовление формы берется листовая сталь, изгибается на вальцах под интересующий радиус. Затем закрепить форму с двух сторон трубой или любым металлом – во избежание распрямления самой формы под весом стекла, просверлить небольшие отверстия на дне для выхода воздуха. Обжечь, резко остудить, обработать разделителем, просушить и форма готова к использованию.

**Трубчатая форма** с неизменяемым радиусомгиба. Изготавливается как первая, только вместо листа гнутся трубы под определенный радиус и свариваются в форму. Ее как и цельнолистовую необходимо покрыть разделителем или керамо-бумагой, во избежание прилипания стекла к металлу. Трубчатая форма с изменяемым радиусомгиба изготавливается из прямых труб. Трубы крепятся на каркас при помощи болтов и при необходимости можно сделать любой радиус. Такие формы более предпочтительны для малого производства.

Стеклоформы, изготовленные из глиноземистого или контактно-конденсационного цемента, обязательно нужно покрывать глазурью для предотвращения прилипания стекла. А вот формы, изготовленные из известково-глинистого цемента, в этом не нуждаются. Более того, этот материал позволяет лучше, чем другие виды цемента, передать форме мелкие детали шаблона.

### **Уход и эксплуатация форм для моллирования и отекания.**

Несмотря на то, что не все стеклоформы нуждаются в защитном покрытии глазурью или термостойкой бумагой из керамического волокна для предотвращения прилипания стекла, многие мастера защищают все стеклоформы без исключения. Некоторые художники обязательно наносят защитное покрытие и на под печи, и на подложку для предотвращения возможных повреждений, вызванных случайным попаданием расплавленного стекла. Если наносить глазурь пульверизатором, то поверхность получается более гладкой, чем при использовании кисти.

Стеклоформы, содержащие в своей массе влагу, перед применением обязательно нужно полностью высушить. Сушка, или так называемая консервация, стеклоформы производится либо потоком сухого воздуха, создаваемого с помощью бытового вентилятора, либо нагреванием в печи до температуры около 250°C.

Иногда перед покрытием поверхности стеклоформы глазурью ее обрабатывают самой мелкозернистой наждачной бумагой («нулевкой») для лучшего сцепления глазури с поверхностью. Стальные и некоторые другие стеклоформы при комнатной температуре невозможно покрыть

# Производственная мастерская «Агни»

Прокалка, обжиг, фьюзинг, моллирование  
печи для мастерских и производственных предприятий

глазурью или почистить перед нанесением глазури. Поэтому их предварительно нагревают до температуры около 250°C для мгновенного закрепления наносимой глазури на поверхности формы. Стеклоформу помещают в печь, оставив при этом крышку или дверцу немного приоткрытой для отвода возможного пара. Затем печь нагревают до 250°C в течение 30 минут (время нагревания может быть и больше, в зависимости от размеров и материала стеклоформы).

Пока печь нагревается, нужно приготовить глазурь, широкую кисть или пульверизатор, а также термостойкую подставку для горячей стеклоформы. Для защиты от вдыхания частиц распыляемой глазури обязательно используют респиратор.

Когда температура достигнет 250°C, печь выключают. Стеклоформу осторожно извлекают из печи и устанавливают на термостойкую подставку.

Нанесение глазури пульверизатором на поверхность стеклоформы из нержавеющей стали или другого аналогичного материала — достаточно простая процедура. При соприкосновении жидкой глазури с нагретой поверхностью формы влага мгновенно с шипением испаряется, а смесь каолина и глинозема образует гладкое равномерное покрытие.

Если нанесение глазури производится кистью, то для этого выбирают широкую кисть, ворс которой способен выдержать температуру нагретой стеклоформы. Глазурь быстро наносят на всю поверхность, которая будет контактировать со стеклом. Первый слой покрытия должен наноситься в одном направлении, каждый последующий слой (в случае необходимости) — в новом направлении. Каждый слой глазури должен полностью высохнуть перед нанесением следующего. Сушку можно ускорить, помещая стеклоформу в печь. В большинстве случаев Достаточно двух-трех слоев глазури. При нанесении покрытия происходит интенсивное испарение влаги, поэтому нужно использовать защитные рукавицы или перчатки.

Нельзя забывать о том, что стеклоформа для отекания должна иметь в нижней части несколько отверстий для оттока воздуха. Если в результате нанесения глазури эти отверстия оказались закрыты, то перед формованием их обязательно нужно прочистить.

Покрытая глазурью поверхность стекло-формы должна быть гладкой на ощупь и без видимых пропусков. Нанесенная глазурь обычно выдерживает несколько процедур термического формования, но если после очередной из них покрытие выглядит истончившимся, покрывается хлопьями, местами отслаивается или изменяет цвет, то глазурь необходимо нанести заново. Перед повторным нанесением покрытия старую глазурь нужно удалить, а затем зачистить поверхность стеклоформы мелкозернистой наждачной бумагой («нулевкой»).

## О РЕЖИМАХ НАГРЕВА:

### marisha

**28.01.2011, 20:13**

Мой график таков, чем толще стекло тем дольше разогрев и отжиг.

1 Нагрев от комнатной температуры до 350°C для 4-ки размером 800\*420 2,5-3 часа

Быстрый нагрев до 450°C.

Выдержка на рабочей температуре пока полностью не примет форму.

Быстрое охлаждение до 450°C.

Отжиг от 450°C до 350°C около 3х часов.

Охлаждение до комнатной температуры вместе с печью.

### TITANIK

**12.05.2011, 16:49**

# Производственная мастерская «Агни»

## Прокалка, обжиг, фьюзинг, моллирование печи для мастерских и производственных предприятий

Все режимы и затраты времени - индивидуальны.

Много факторов влияет: объем и мощность печи, термоизоляция, тип и износ нагревательных элементов, алгоритм набора температуры, производитель стекла и т.д.

Но, по сути - 90 минут.( при радиусе до 220°C)

**Михаил Хизриев**

**12.05.2011, 23:36**

Справочника для режимов моллирования не существует.

Универсальных режимов моллирования не существует.

Любой режим выложенный на форуме будет для Вас бесполезен.

Есть три требования на которых все основано:

1. Стекло начинает пластифицироваться(размягчатся) при температуре 500-540°C, но это показатель температуры относится именно к стеклу, а не показателю датчика температуры на выводном дисплее.
2. Мощность печи для данного объема печи. Следует из п.1, т.е. в печи необходимо создать температурные условия для моллирования стекла. Сюда же относится и оснастка.
3. Равномерность нагрева всего объема печи со стеклом и оснасткой.

ИТОГИ. Только практика использования Вашей печи - даст нужные Вам режимы моллирования.

Пробные попытки моллирования - ответят на все вопросы.

Мой пример основан на: Мощность печи -32 кВт, объем-1,8 м3, размер стекла -дуга370x820 (4 мм), радиус был по шаблону (примерно 300). Полный цикл с отжигом.

**Anna**

**07.08.2011, 21:51**

Мне трудно говорить о выдержке или вообще о каких-либо режимах, потому что у нас печь с ручным управлением. Знаю только, что стекло согнулось при 435°C, лежало оно при этом на расстоянии 20 см от нагревателей в нижней точке изгиба (края ближе. естественно). Обычно наши набирают температуру до 300°C в течение трех часов (медленно, одним рядом спиралей, с остановками). После этого - двумя рядами, и после 400°C начинают подглядывать в окошки - легло или не легло. Как легло - приоткрывают, еще раз смотрят, в случае нужды еще чуть-чуть подогревают, опять приоткрывают, смотрят, и если всё нормально - остужают с приоткрытой крышкой до 390°C.

Я понимаю, что температуры сомнительны, но столько показывает градусник. Какая температура на самом деле - наверное, не знают и Поднебесные создатели этой печи

**Серый**

**08.10.2011, 15:38**

свой режим -

- 1.Заготовка укладывается на трубную систему без каких либо прокладок
- 2.Очищаем трубы нулевкой до гладкого состояния на ощупь.
- 3.Включаем программу нагрева, нагрев 0-200°C 1.5-2часа(толщина стекла) быстрый нагрев до 420°C, выдержка3-5мин.,опять нагрев до 440°C,выдержка 5мин.,если заготовка имеет большую длину процедура повторяется еще раз, а то и два для выравнивания температуры по заготовке, ну и само моллирование, ручное управление зонами, если нужно, и не спешить при конечном опускании, стараться держать заготовку в стадии томления, пока стороны не лягут на опорные трубы.

# Производственная мастерская «Агни»

## Прокалка, обжиг, фьюзинг, моллирование печи для мастерских и производственных предприятий

4.Откивание 1мин, закрытие, 30сек , опять открытие 1мин., закрытие ,остывание (отжиг)  
5.Тепература выемки изделия 75-80°C я закладываю заготовки под вечер, моллирую, ночь на остывание, утром достаю витрины для холодильников 2 и более перекладываю обычной бумагой, полоски по одному см, перекладываю по краям и середину, остатки сгоревшей бумаги отмываю средством для стекол. Заготовки длина макс. 1950мм ширина 1000мм. Успехов.

**qwaga85**

**04.02.2012, 14:22**

Производственный процесс моллирования на моем предприятии:

В форму кладем по 3 стекла 4мм друг на друга.

Вогнутая форма из профильной трубы 20\*20мм.

1.Под нижнее стекло подкладывается стеклохолст плотностью 30-40 грамм на метр.

2.Для предотвращения склеивания на стекла наносится обычная побелка из строительного магазина, затем стекла тщательно обдуваются, так как если на стекле останутся крупинки мела они неизбежно оставляют следы на стекле после моллирования.

3.Стекло укладывается в печь запускается программа

-нагрев 9гр.\мин до 300°C.

-выдержка на 300°C. 20мин.

-нагрев 15гр.\мин до 610гр.

-выдержка на 610°C. 10мин.

-нагрев до 620°C.

-выдержка 25мин.

-остывание

ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ

**kotovskiy\_unlim**

**04.06.2011, 19:03**

Здравствуйте. Кто-нибудь гнёт стекло малых радиусов? 250-300мм.

столкнулся с проблемой... стекло не доходит по краям до рамки...центр принимает радиус ,края прямые. использую металлическую рамку два радиусных ребра соединённые уголками по размерам стекла с припусками...

**Михаил Хизриев**

**04.06.2011, 20:38**

Кто-нибудь гнёт стекло малых радиусов? 250-300

Гнут все, если есть заказ. Длина дуги и толщина стекла - имеет определяющее значение для малых радиусов в части принятия решения: на какой оснастке производить моллирование.

стекло не доходит по краям до рамки...

Вы попытайтесь :

1 дать полку - время постоянной температуры.

2 увеличить время моллирования

3 уменьшить температуру(максимальную) при укладке и только в самом конце кратковременно

# Производственная мастерская «Агни»

## Прокалка, обжиг, фьюзинг, моллирование печи для мастерских и производственных предприятий

увеличить.

Еще один вариант гнуть стекло большего размера по дуге, затем обрезать края (он не самый лучший, и со временем Вы от него откажитесь) .

Два радиусных ребра соединенные уголками по размерам стекла с припусками...

Уголок, в качестве перемычек, мы не используем. Выпуклая форма должна быть цельно металлический.

Не обязательно, можно перемычки из прута(12) через 25-30 мм поставить.

На цельнометаллических формах неважно выпуклых или внутренних в любом случае поднимаются края и прямые грани идут "волной".

Не согласен, у нас обычно не поднимаются и не идут волной. Иначе, ни один заказчик не принял стекло в гнутый фасад.

Подскажите какую-нибудь литературу а то я на эксперименты уже кучу стекла и киловатт электроэнергии потратил..

Такой литературы - нет. Вам нужна 1-2 удачных попыток и Вы поймете, что делали неправильно до этого. С сожалению других путей нет (Это Ваша печь, и только Вы видите и знаете, как проводится режим).

**Anna**

**04.06.2011, 21:14**

Вы попытайтесь :

1 дать полку - время постоянной температуры.

Это не совсем понятно. Можно вас попросить подробнее описать? У наших сгибальщиков тоже иной раз бывает, что края стекла не сгибаются, а прямые и слегка волнообразные. Сто режимов перепробовали, а установить причинно-следственную связь пока не смогли.

**Михаил Хизриев**

**04.06.2011, 22:52**

Это не совсем понятно. Можно вас попросить подробнее описать? У наших сгибальщиков тоже иной раз бывает, что края стекла не сгибаются, а прямые и слегка волнообразные. Сто режимов перепробовали, а установить причинно-следственную связь пока не смогли.

Подрыв концов для выгнутой цельнометаллической оснастки связан с большой температурой в печи (желание поскорей завершить, когда нужно - ждать) или ускоренным остыванием.

На заключительном этапе режима для вогнутой рамки - это явление есть у всех. Для больших радиусов на это, ни кто не обращает внимание. Для радиусов 250-400 заметно сильно.

Почему не укладываются края стекла? Не бывает боковой силы тяжести - любая масса стремится вниз и тут на краях стекло "стоит" почти вертикально и сила тяжести небольшая. Но она есть! Теперь возьмите лист обычной бумаги А4 и намочите ее в воде, положите на любую выгнутую поверхность - лист точно копирует прогиб, в который вы его уложили. Мы гнем не бумагу, а стекло. Для стекла нужна не вода, а температура.

# Производственная мастерская «Агни»

Прокалка, обжиг, фьюзинг, моллирование  
печи для мастерских и производственных предприятий

Если края стекла прямые и волнообразные - это значит, что стекло было недостаточно прогрето (не достигло той, степени пластификации) для того, чтобы небольшая сила тяжести могла уложить его на малых краевых участках. Обычно - это баланс температуры и времени выдержки, когда и низ не хочется провалить (у нас прутковые рамки), но и края нужно нагреть до укладки. Этот момент улавливаешь в смотровом окне печи.

Вы верно заметили "также иной раз бывает", значит не всегда! И есть режимы моллирования на которых все нормально. Значит баланс (для этого режима) температура-время выдержан.

С радикально с краевым недогибом борются печи с зональной системой нагрева. Середина стекла прогнулась, ее греть не надо . она отключается и завершение происходит на краевых зонах.

У нас одна печь - 6 зон и одна 3 зоны нагрева. Есть печь без зонирования.

В прошлом году финны предлагали 16 зонную печь, для автобусных панорамных лобовых стекол, там загибы бывают под 90 градусов. Оснастка имеет до 4-5 плечей загиба.