

ГЛАВА 6. ДРУГИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ

6.1. ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Способ был предложен и запатентован в США в 1958 г., а уже в начале 60-х годов им начали получать отливки в разных странах и объем производства составлял 15.000 тонн (1962 г.). Сейчас объем выпуска отливок в мире этим способом оценивается в сотни тысяч тонн.

Сущность способа.

Этот развивающийся метод можно отнести в группу способов получения отливок в неразъемных формах по разовой модели, как литье по выплавляемым моделям (см. главу 1). Но в отличие от них, модель удаляется (газифицируется) не до, а в процессе заливки формы металлом, который как бы вытесняет «испаряющуюся модель» из формы и замещает освободившееся пространство полости формы.

Современные варианты технологического процесса заключается в следующем:

Разовые пенополистироловые модели изготавливают либо в специальных металлических пресс-формах (массовое и крупносерийное производство), используя суспензионный полистирол в виде подвешенных гранул, либо механической обработкой нормализованных пенополистироловых плит (мелкосерийное, единичное производство). Сложные модели делают по частям. Отдельные части и литниковую систему соединяют в единый блок склеиванием или сваркой.

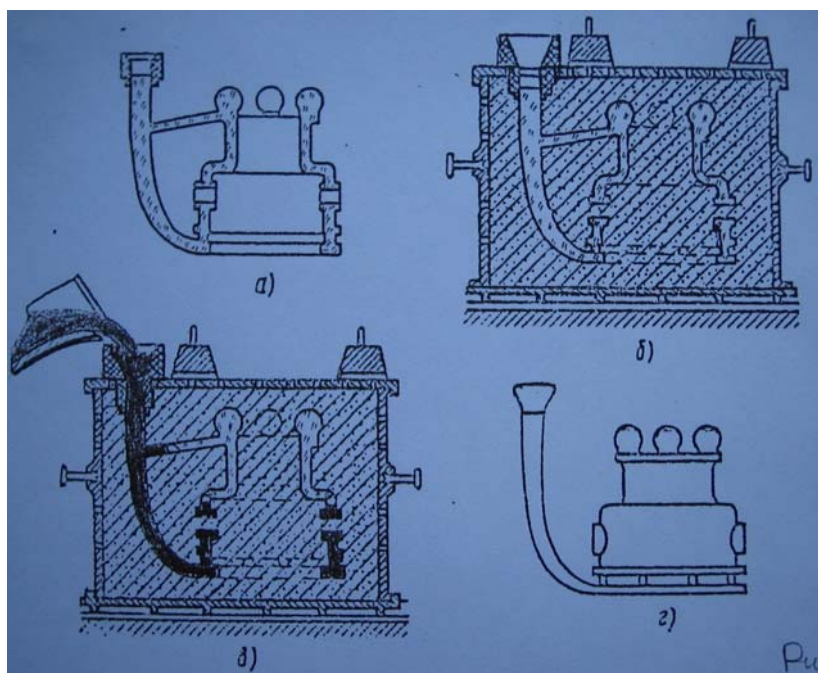


Рис. 6.1. Схема изготовления отливки по газифицируемой модели.

а – пенополистироловая модель отливки; б – форма, подготовленная к заливке;

в – заливка формы, газификация модели; г – отливка с элементами литниковой системы.

Собранную модель (рис. 6.1, а) окрашивают слоем огнеупорной краски и сушат на воздухе. В итоге получается огнеупорная газопроницаемая оболочка,

прочно связанная с пенополистироловой моделью.

Готовую модель устанавливают в специальную опоку-контейнер, засыпают зернистым огнеупорным наполнителем без связующего, уплотняют его вибрацией, закрывают металлической крышкой с отверстиями, нагружают и устанавливают литниковую чашу (рис. 6.1, б).

В другом варианте, при изготовлении более сложных отливок, контейнер, после подачи опорного материала, закрывают сверху полиэтиленовой пленкой, как при вакуумной формовке. Чтобы уменьшить вероятность разрушения формы в ней создают разрежение до 0,04...0,05 МПа.

При изготовлении крупных массивных отливок используют обычные холоднотвердеющие жидкоподвижные или сыпучие формовочные смеси.

Приготовленную форму заливают жидким металлом (рис. 6.1, в). Благодаря относительно низкой температуре газификации пенополистирола (~560 °С), модель газифицируется под действием теплоты заливаемого металла, и постепенно освобождает полость формы.

После затвердевания и охлаждения отливки, опоку-контейнер переворачивают, наполнитель высыпается, отделяясь от отливки, и она (рис. 6.1, г) поступает на финишные операции. В случае использования обычных формовочных смесей, форму выбивают на выбивных решетках.

Главная особенность способа (применения неразъемной формы) определяет его основное преимущество для качества отливок – повышение их точности за счет сокращения частей формы, стержней и, следовательно, возможных искажений конфигурации и размеров отливок, связанных с изготовлением и сборкой этих элементов формы. Точность отливок при литье по газифицируемым моделям в песчаные формы без связующего и с ним, характеризуются ГОСТ 26645-85 идентично точности отливок, получаемых в кокиль или облицованный кокиль со стержнями. Отливки с размерами до 500 мм могут иметь точность от 7 до 12 класса по ГОСТ 26645-85. Шероховатость поверхности $R_z = 25 \dots 10$ мкм.

Кроме того, способ позволяет существенно снизить затраты и сократить время, особенно в мелкосерийном и единичном производстве средних и крупных отливок.

Сложившиеся области применения:

- изготовление средних и крупных массивных отливок в условиях опытного и мелкосерийного производства;
- изготовление сложных отливок массой до 50 кг с повышенной точностью размеров в условиях серийного и крупносерийного производства из черных и цветных сплавов. К таким отливкам можно отнести, например, отливку «Блок цилиндров» для автомобильного двигателя.

Модельные материалы.

Материалы для изготовления газифицируемых моделей служит вспенивающийся полистирол, который представляет собой синтетический полимерный продукт суспензионной полимеризации стирола в присутствии эмульгатора, стабилизатора и порообразователя. В качестве порообразователя чаще всего используют изопентан. Применяемые для моделей гранулы вспенивающегося полистирола, представляют собой полупрозрачные или белые непрозрачные шарики диаметром до 3,2 мм с внешней твердой полистироловой оболочкой, внутри которой находится жидкая фаза – изопентан. Чем тоньше стенки модели, тем мельче должны быть гранулы вспенивающегося полистирола. При нагреве до 27,9 °С изопентан закипает и превращается в газ с увеличением объема, а при 80...90 °С полистирольная оболочка размягчается и под действием давления газ деформируется. Происходит рост объема гранул в 10...40 раз. Этот процесс называется вспениванием гранул полистирола. При вспенивании гранул в замкнутом объеме, они спекаются в монолитную пену – пенополистирол, точно воспроизводя конфигурацию ограничивающей его рост конструкции.

Для изготовления отливок по газифицируемым моделям пенополистирол должен обладать следующими свойствами:

- при плотности (20...30 кг/м³) иметь достаточную технологическую прочность ($\sigma_{из} = 0,1 \dots 0,2$ МПа), чтобы сохранять размеры и конфигурацию моделей в процессе их изготовления, хранения, транспортировки и формовки;
- минимальной и стабильной усадкой на всех стадиях технологического процесса (0,15...0,2%);

- достаточной скоростью газификации, чтобы заливаемый металл заполнил полость формы раньше его кристаллизации;
- при газификации разлагается с минимальным количеством коксообразующих продуктов, чтобы избежать появления засоров в отливках

Изготовление газифицируемых моделей.

Процесс получения моделей в массовом и крупносерийном производстве состоит из двух стадий: предварительное вспенивание в свободном состоянии исходных гранул вспенивающегося полистирола и окончательное вспенивание гранул в замкнутой полости пресс-формы – получение модели из пенополистирола.

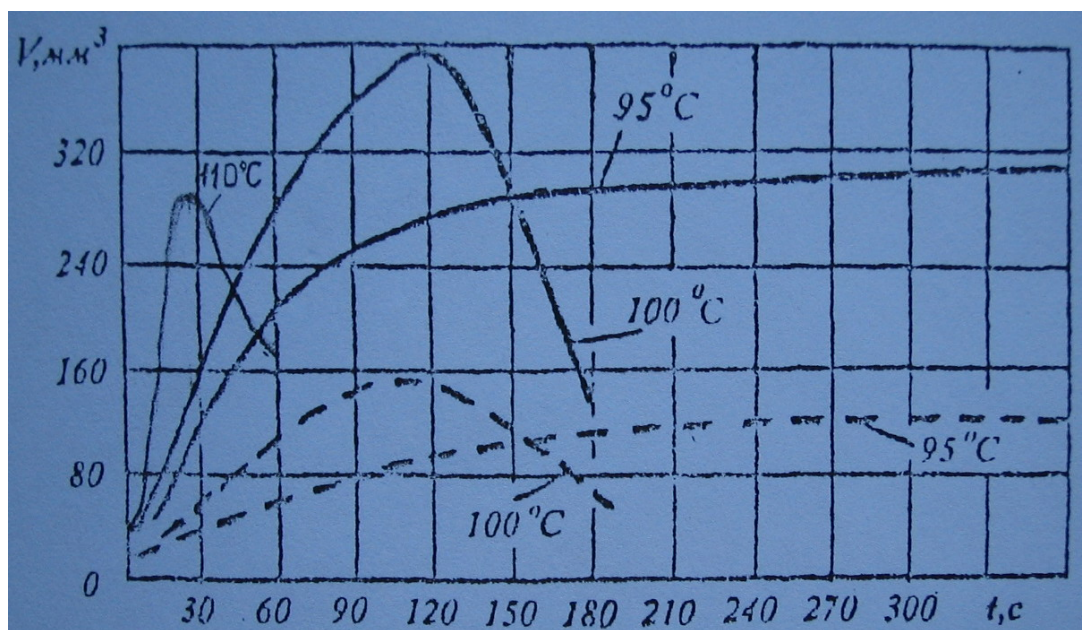


Рис. 6.2. Увеличение объема гранул пенополистирола в зависимости от температуры и времени подвспенивания: сплошная линия – начальный размер гранул 2,5 мм, штриховая – 1,5 мм.

Предварительное вспенивание гранул. Предварительная тепловая обработка вспенивающегося полистирола необходима для получения впоследствии газифицируемых моделей с заданной объемной массой (плотностью), которая определяет прочность модели и качество поверхности. Вспенивающая способность гранул заданной дисперсности определяется температурой и временем тепловой обработки (рис. 6.2.). С увеличением времени тепловой обработки, объемная масса возрастает и, соответственно, полезно уменьшается насыпная масса подвспененных гранул. Хотя повышение температуры обработки приводит к сокращению времени, при котором гранулы достигают максимального объема, однако процесс становится нестабильным и передержка гранул выше температуры 95 °С приводит к потере их активности и усадке. Это связано с увеличением скорости деформации полистироловой оболочки гранул при повышении температуры, в результате чего стенки отдельных ячеек гранул разрушаются и происходит потеря порообразователя. Поэтому гранулы полистирола предварительно вспенивают в ваннах с горячей (95...100 °С) водой в течение 1...10 мин, применяют так же для нагрева пар или токи высокой частоты.

В условиях крупносерийного и массового производства чаще всего используют перегретый пар. На рис. 6.3. показана установка непрерывного действия для предварительного вспенивания гранул полистирола. Гранулы полистирола загружают в бункер 1,

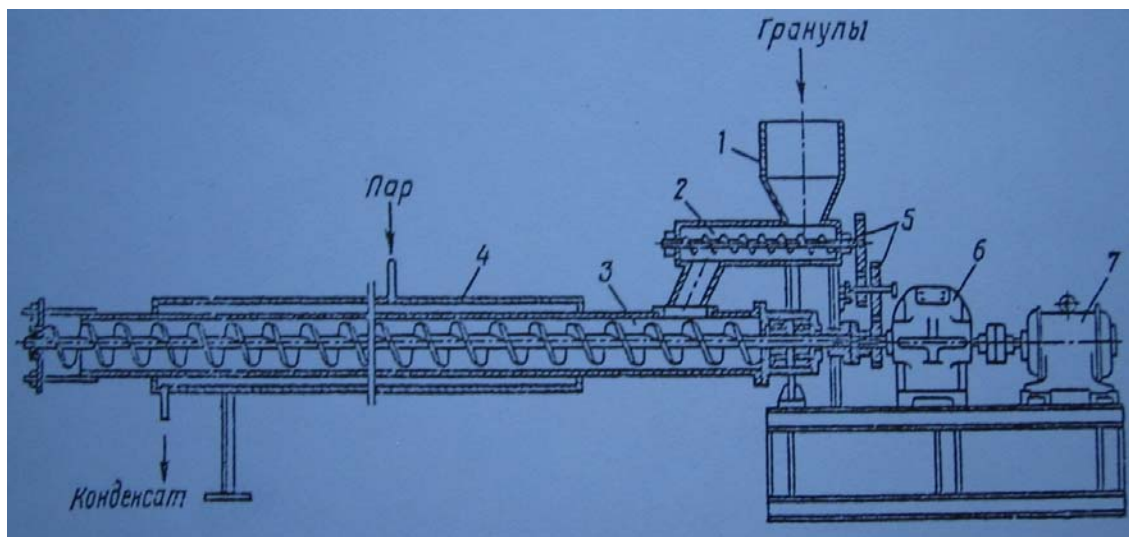


Рис.6.3. Схема установки непрерывного действия для предварительного вспенивания гранул пенополистирола.

1 – бункер для гранул вспенивающегося полистирола; 2 – питатель;
3 – камера вспенивания; 4 – паровая рубашка; 5 – привод дозатора;
6 – редуктор; 7 – электродвигатель.

из которого с помощью тарельчатого питателя они попадают в камеру вспенивания, обогреваемую паром. В процессе вспенивания гранулы продвигаются в ней с помощью шнека. Режим вспенивания регулируется подачей пара и скоростью прохождения гранул полистирола по камере. Температура вспенивания $96...98\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжительность $1...2$ мин. Производительность установки можно менять в пределах $1...2,5\text{ м}^3/\text{час}$.

На предприятиях с небольшим объемом производства предварительное вспенивание целесообразно проводить в горячей воде. Для этого исходные гранулы полистирола помещают в воду с температурой $95...100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдерживают необходимое время при постоянном помешивании, чтобы обеспечить равномерность тепловой обработки и исключить слипание гранул. После выдержки, необходимой для подвспенивания гранул до заданной насыпной массы, их извлекают и засыпают на стеллажи с сетчатым дном для просушивания и выдержки на воздухе.

После предварительного вспенивания, гранулы выдерживают на воздухе от 6 часов до 2-х суток. В этот период оболочка гранул, охлаждаясь, вновь переходит в стеклообразное твердое состояние, а пары изопентана конденсируются, что приводит к возникновению вакуума в гранулах. В процессе выдержки происходит диффузия воздуха внутрь гранул и давление выравнивается. Для сокращения времени выдерживания можно использовать их выдержку при повышенном давлении $0,2...0,3\text{ МПа}$.

Изготовление моделей в пресс-формах. Процесс заключается в повторном нагреве подвспененных и активированных гранул полистирола, помещенных в пресс-форму, в результате которого они окончательно вспениваются и спекаются между собой, образуя пенополистироловую модель отливки.

Подготовленные гранулы засыпают или задувают сжатым воздухом в смазанную специальной смазкой (чтобы исключить прилипание модели) рабочую полость пресс-формы так, чтобы они полностью заполнили ее объем. Смазками служат: раствор синтетического термостойкого каучука (СТК), силиконовая жидкость, глицерин. Смазка рабочей поверхности пресс-формы кремнеорганическими соединениями позволяет получать 10-15 моделей без ее возобновления.

Нагрев гранул в крупносерийном и массовом производстве целесообразно проводить способом «теплового удара». Перегретый пар с температурой $125...135\text{ }^{\circ}\text{C}$ под

давлением 0,2...0,35 МПа вводят непосредственно в пресс-форму (рис. 6.4.), заполненную гранулами полистирола. Проходя между гранулами, турбулентный поток пара интенсивно смешивается с воздухом, находящимся в порах засыпки, вытесняет его из пресс-формы и равномерно по всему объему нагревает полимерный материал, который окончательно вспенивается. Образующийся конденсат отжимается расширяющимися гранулами к стенкам пресс-формы и удаляется через специальные дренажные отверстия.

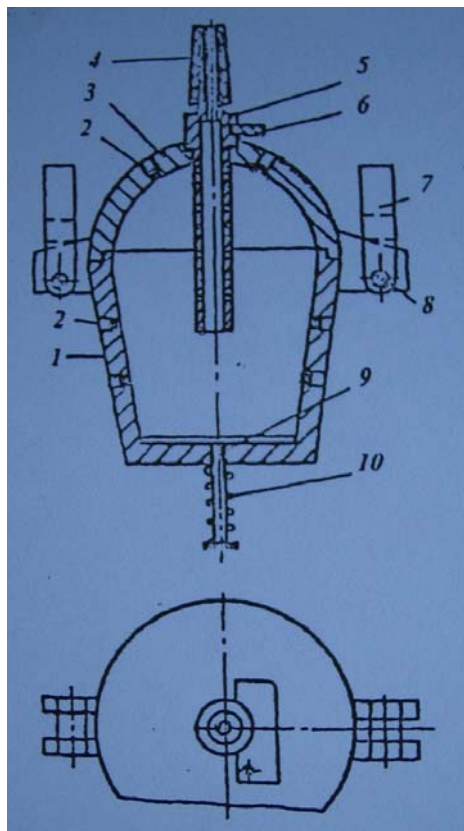


Рис. 6.4. Пресс-форма с инжектором для получения модели массивной прибыли с помощью теплового удара.

1, 3 – нижняя и верхняя половина пресс-формы; 2 – отверстия в пресс-форме; 4 – шланг; 5 – инжектор; 6 – замок инжектора; 7 – зажим; 8 – ось зажима; 9 – толкатель; 10 – пружина толкателя.

По мере развития этого процесса уменьшаются проходные сечения между вспенивающимися гранулами, и когда гранулы полностью плотно перекрывают входные отверстия в пресс-форму, поступление пара в нее прекращается – процесс заканчивается автоматически. Глубина эффективного проникновения пара в засыпку гранул полистирола составляет в среднем 100 мм. Когда толщина модели превышает эту величину, в полости пресс-формы размещают перфорированные инжекторы 5 (рис. 6.4.) для подачи пара. Модели, полученные способом теплового удара, имеют приятную для газификации плотность ($20...30 \text{ кг/м}^3$) и низкую шероховатость поверхности. Длительность тепловой обработки составляет в среднем 2...3 мин.

Процесс легко контролируется и автоматизируется, но требует специальных конструкций пресс-форм и оборудования. При небольших объемах производства чаще используют более простые, но менее производительные способы:

- *ванный*, когда пресс-форма с подвешенными гранулами помещается в ванну с водой, нагретую до кипения. После окончания процесса пресс-форму охлаждают в проточной воде;

- *автоклавный*, когда перфорированная пресс-форма, заполненная гранулами, помещается в автоклав, куда подается острый пар при давлении 0,13...0,145 МПа при температуре 105...115 °С. Перфорация пресс-формы в виде отверстий в стенках диаметром 0,5...1,5 мм, а лучше щелей шириной 0,25...0,5 мм служит для подачи пара внутрь пресс-формы, а так же для удаления воздуха и конденсата во время расширения и спекания гранул.

Автоклавный метод позволяет получать модели с плотностью $\sim 25 \text{ кг/м}^3$ и чистой поверхностью, чего трудно достичь при ванном способе. Существенным недостатком автоклавного способа является длительность процесса, которая составляет 10...40 мин при толщине стенок модели от 5 до 100 мм.

Пресс-формы для пенополистироловых моделей.

Общими требованиями к материалам для изготовления пресс-форм являются высокие теплопроводность, стойкость против коррозии при контакте с теплоносителем (горячей водой, паром), достаточная механическая прочность и минимальная адгезия к пенополистиролу.

Чаще всего в качестве материала основных элементов пресс-формы используют алюминиевые сплавы, реже медные и сталь. Стальные пресс-формы для предупреждения коррозии хромируют. Иногда используют пластмассы с наполнителями, повышающими их теплопроводность. Температура размягчения пластмасс не должна быть ниже 150 °С.

Для быстрого нагрева гранул, снижения затрат на теплоноситель и равномерного протекания процесса формирования моделей на всех стадиях (нагрев, охлаждение) корпуса пресс-форм делают равностенными с толщиной стенки 8...10 мм. Тем не менее, пресс-форма должна быть достаточно прочной и жесткой, так как в ее рабочей полости возникает давление от вспенивающегося полистирола до 0,6 МПа.

Стенки пресс-формы должны иметь перфорацию для отвода из нее воздуха, пара или воды. Отверстия или щели выполняются с шагом 30...100 мм в зависимости от габаритов пресс-формы и конфигурации модели. Соотношение между суммарной площадью выходных и входных венг должно составлять 0,7...0,9 и его подбирают для каждого конкретного случая. Отверстия, служащие для заполнения пресс-форм предварительно вспененными гранулами, должны иметь специальные затворы.

Конструктивное оформление пресс-форм должно обеспечивать возможность извлекать из нее модели, иметь системы центрирования и крепления отдельных частей, загрузки гранул, подачи теплоносителя, толкателей, охлаждения и крепления к машине, при механизированном изготовлении и т. д. В целом пресс-формы тем сложнее и дороже, чем сложнее и крупнее изготавливаемая в ней модель, и полнее степень механизации и автоматизации процесса изготовления модели.

Изготовление моделей из пенополистироловых плит. В качестве материала используют готовые пенополистироловые плиты марки ПС-Б и ПС-БС с габаритами до 1000×700×100 мм. Их плотность 20...25 кг/м³, $\sigma_{из} = 0,09...0,23$ МПа, при 5% -ой деформации, остаток после испарения образца не более 2% по массе, скорость плавления ~25 мм/с.

Пенополистирол легко обрабатывается на обычных деревообрабатывающих станках. Чистовую обработку, стругание, фугование, фрезерование и др. ведут на больших скоростях резания при малых подачах, используя инструмент с мелкой насечкой, тонкие наждачные круги и шлифовальную шкурку.

Одним из способов обработки пенополистирола является обработка горячей электронагреваемой нихромовой проволокой. Температура нагрева режущей проволоки обычно 300...450 °С.

Преимущество данного способа заключается в том, что гранулы пенополистирола не выкрашиваются, а оплавляются по разрезаемой поверхности и закрывают поры.

Обычно сложные модели изготавливают из отдельных частей простой геометрической формы с последующим их склеиванием. Мелкие галтели выполняют клейкой лентой, при больших радиусах их изготавливают из отдельных конструктивных элементов. Некоторые стандартизированные элементы модели (бобышки, запоры, прибыли и т. д.) применяемые на разных моделях, можно изготавливать вспениванием в пресс-форме и затем их приклеивать.

Для соединения составных частей модели, элементов литниковой системы, блоков моделей широко применяют полимерные клеи, нерастворимые в воде, которые обеспечивают быстрое склеивание, не содержат растворителей пенополистирола и не влияют на характер его газификации, например поливинилацетатный лак, карбамидная смола МФ-17, клей БФ-2 и др. Можно применять водные клеи на основе казеина или декстрина, но они сохнут медленно.

Соединение частей модели можно выполнять термической сваркой или сваркой растворением.

Термическая сварка осуществляется с помощью струи воздуха, нагретого до 105...130 °С. В качестве присадочного материала используют прутки из пенополистирола. Наплывы в местах сварки устраняют заглаживанием нагретым инструментом.

Для сварки растворением пенополистирол растворяют в стироле, толуоле, дихлорэтане до достижения консистенции киселя. Полученный состав наносят тонким слоем на соединяемые поверхности, при этом материал модели несколько растворяется. После соединения поверхностей и выдержки 8...10 мин под небольшим давлением образуется прочный однородный с моделью соединительный шов.

Пенополистироловые модели значительно дешевле, чем деревянные, что особенно важно в единичном производстве. Время, затрачиваемое на их изготовление в 2...3 раза меньше, при этом не расходуется древесина высокого качества.

Собранные модели и модельные блоки покрывают противопопригарной краской или суспензией толщиной 0,2...2,0 мм. После сушки покрытие предохраняет отливку от пригара и повышает прочность модели. Важным показателем покрытия является ее газопроницаемость, чтобы обеспечить выход газов, образующихся при газификации из зазора между моделью и расплавом. Состав красок зависит от типа сплава и массы отливки, материала формы. В состав могут входить циркон, графит (для чугуна), пылевидный кварц, дистен-силлиманит (алюминиевые сплавы), каменноугольная или древесная пыль (медные сплавы) и т. д. В качестве связующего используют гидролизированный раствор этилсиликата, цемент, гипс, искусственные смолы. Для повышения газопроницаемости добавляют суспензию пористых материалов – асбест, пемзу и др. Противопопригарную краску на модель наносят окунанием, кистью или распылением.

Изготовление литейных форм.

Для изготовления форм в крупносерийном и массовом производстве отливок по газифицируемым моделям наиболее распространены сыпучие формовочные материалы без связующего: кварцевые, оливиновые, цирконовые пески, шамот, магнезит, электрокорунд. Их использование позволяет получать отливки при наименьших затратах на изготовление и выбивку форм, регенерацию формовочного материала. Чаще всего используют кварцевый песок для отливок из алюминиевых сплавов массой до 100 кг, и из черных сплавов до 500 кг.

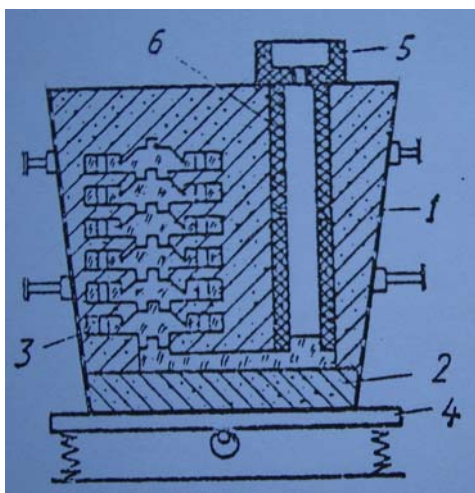


Рис. 6.5. Изготовление формы с пенополистироловой моделью с засыпкой песком без связующего.

1 – опока-контейнер; 2 – предварительная засыпка; 3 – блок моделей ;

4 – вибратор; 5 – чаша; 6 – керамический стояк.

Процесс формовки осуществляют следующим образом (рис. 6.5). На дно опоки-контейнера 1 насыпают слой сухого песка 2 толщиной 100...150 мм и его уплотняют вибрацией. Затем в опоку устанавливают модель или модельный блок 3 и заполняют ее песком при одновременной вибрации.

Опока-контейнер также имеет в стенках отверстия для выхода газа, закрытые металлической сеткой. Для обеспечения высокой газопроницаемости формы (несколько сотен единиц), предпочтительно, чтобы зерна песка имели угловатую форму.

Особые требования предъявляются к литниковым системам. Они должны обеспечивать плавное и безударное движение металла во время, определенную скорость его

подъема в форме. Турбулентный режим течения металла является причиной разрушения песчаной стенки. Такой режим возникает в стояке, поэтому на модель стояка наносят прочное керамическое покрытие, или выполняют его из керамических трубок. При литье по газифицируемым моделям используют выпоры и открытые прибыли.

После получения отливки и выбивки форм, песок просеивают и охлаждают, так как из-за низкой термостойкости моделей применять горячий песок нельзя. При необходимости проводят магнитную сепарацию песка, периодически его прокаливают при 300...400 °С для выжигания продуктов конденсации, которые по мере накопления ухудшают газопроницаемость песка.

Формы для получения массивных и сложных отливок, а так же крупных отливок в единичном и мелкосерийном производстве изготавливают из формовочных смесей. Формовочные смеси для получения отливок по газифицируемым моделям должны иметь повышенную газопроницаемость (не менее 180...120 ед.) и пластичность. Из-за низкой прочности моделей такие методы уплотнения, как встряхивание и прессование неприемлемы.

Наиболее предпочтительны самотвердеющие жидкоподвижные смеси (ЖСС), которые имеют необходимую прочность и газопроницаемость, позволяют уменьшить опасность деформации модели при формовке. Процесс изготовления из них форм легко механизировать и автоматизировать. Основные компоненты этих смесей: кварцевый песок, жидкое стекло, феррохромовый шлак и поверхностно-активные вещества. Недостатки использования ЖСС является повышенная трудоемкость их выбивки.

Также широко используют сыпучие пластичные твердеющие смеси: песчано-цементные, смеси со смоляным связующим.

Заливка форм.

Режимы этого этапа оказывают решающее влияние на качество получаемых отливок. Предпочтительным вариантом является плавное поступление металла в форму снизу с оптимальной скоростью и последовательная газификация модели снизу вверх.

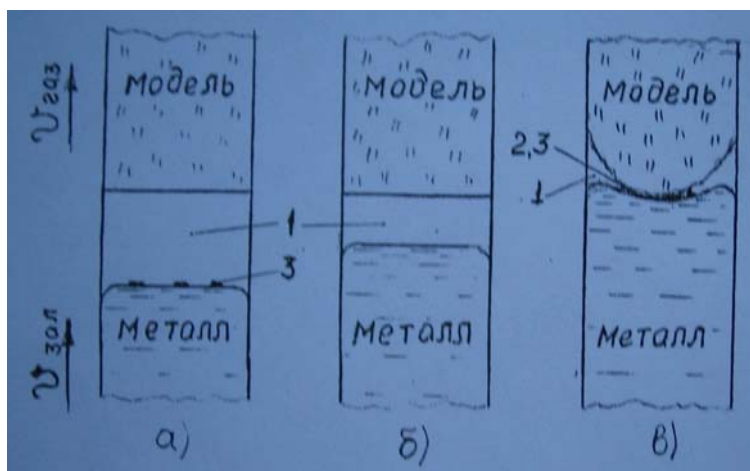


Рис. 6.6. Схема процесса заполнения формы при литье с газифицируемой моделью. 1 - газообразные, 2 - жидкие, 3 - твердые продукты разложения модели.

a - скорость заливки (подъема) металла $V_{зал}$, меньше скорости газификации модели $V_{газ}$; б- $V_{зал} \approx V_{газ}$; в - $V_{зал} > V_{газ}$.

На рис. 6.6 представлена схема заполнения металлом формы с газифицируемой моделью. Идеальный случай, когда скорость подъема металла при заданной температуре соответствует скорости плавления модели, - происходит замещение материала модели жидким металлом. В постоянном зазоре между металлом и моделью возникает давление газа, достаточное для его интенсивной фильтрации в форму и предупреждения возможного обрушения формы в зазоре при использовании песка без связующего¹. Жидкая фаза

¹ Отмеченное выше вакуумирование формы создает дополнительное упрочнение ее материала и позволяет уменьшить вероятность обрушения формы в зазоре между моделью и расплавом. Такую же роль играет магнитное поле при заливке в случае использования ферромагнитных дисперсных материалов в качестве опорного наполнителя.

полистирола успевает разложиться до газообразных и твердых составляющих. Причем твердые частички углерода фильтруются через стенки формы вместе с газовой составляющей.

При скоростях подъема металла меньше скорости деструкции модели, зазор между ней и металлом увеличивается, давление в зазоре уменьшается (рис. 6.6, а). Твердые частички пироуглерода могут попадать на зеркало металла, образуя соответствующие дефекты. Увеличивается опасность обрушения стенок формы в зазоре.

При высоких скоростях заполнения, превышающих продвижение фронта деструкции модели (рис. 6.6, в), металл охватывает модель. Скапливающаяся на поверхности металла жидкая и твердая фаза прижимается к верхней части формы, образуя газовые дефекты в отливке.

Подъем уровня металла в форме, подаваемого снизу с постоянной скоростью, можно обеспечить, применяя сифонную литниковую систему с незаполненным стояком.

Расчет литниковой системы.

Расчет начинают с определения объемного расхода металла при заливке Q , см³/с. $Q = F_{отл} \times V_{мет}$.

Рекомендации по оптимальной скорости подъема металла в форме $V_{мет}$ приведены в таблице 6.1, $F_{отл}$ – минимальная площадь сечения отливки в плоскости перпендикулярной направлению поступления металла в форму.

Таблица 6.1 Рекомендуемые скорости подъема металла в форме, см/с

Толщина стенки отливки, мм	Оптимальная		Максимально допустимая	
	чугун	Сталь	Чугун	сталь
10	2,5	5,0	3,5	7,0
20	2,0	4,0	3,0	6,0
40	1,5	3,0	2,5	5,0

Для мелких отливок массой до 100 кг диаметр отверстия в литниковой чаше, определяющий расходную характеристику системы равен:

$$D_{ч} = \sqrt{[F_{отл} \cdot V_{мет} / (0,785 \mu_{ч} \cdot \sqrt{2gh_{ч}})]}, \text{ см,}$$

где $\mu_{ч}$ – коэффициент расхода отверстия чаши 0,8...0,9; $h_{ч}$ – высота напора в чаше, см.

Площадь поперечного сечения стояка из условий предотвращения выброса металла из формы под действием газов, выделяющихся из модели в начальный момент заливки $F_{ст}$:

$$F_{ст} = (n G_{отл}) / [\rho_{отл} (h_{отл} + h_{изб})], \text{ см}^2,$$

где n – коэффициент, равный 1,3...0,5; $G_{отл}$ – масса отливки, г; $\rho_{отл}$ – плотность металла, г/см³; $h_{отл}$ – высота отливки, см; $h_{изб}$ – избыточный напор, см, принимаемый равным 810 см.

Площадь поперечного сечения питателей F для массивных отливок равна 0,5 $F_{ст}$, для тонкостенных отливок сложной конфигурации – $F_{ст}$, а в некоторых случаях – 1,5 $F_{ст}$.

Для крупных отливок при заливке из стопорного ковша необходимо согласовать диаметр стопорного отверстия с диаметром отверстия в чаше по известной методике П. Ф. Василевского. Другие элементы определяются по соотношению:

$$F_{ст} : F_{л.х} : F_{п.пит.} : F_{с.пит.} = 1,0 : 1,3 : 1,3 : 1,5, \text{ где}$$

$F_{л.х}$; $F_{п.пит.}$; $F_{с.пит.}$ – площади сечения литникового хода, прямого питателя и сифонного питателя соответственно.

Одним из специфических эффектов, присущих данному способу, является науглероживание поверхности стальных отливок, особенно заметное на малоуглеродистых сталях. Глубина науглероженного слоя зависит от состава стали, толщины стенки и высоты отливки, и может достигать 10 мм. Для уменьшения этого явления в форму при заливке можно подавать углекислый газ или инертный газ.

Механизация и автоматизация процесса.

Технологический процесс изготовления форм по газифицируемым моделям при использовании песка без связующего позволяет автоматизировать многие операции цикла. На рис. 6.7 приведена автоматизированная линия для изготовления отливок из черных и цветных сплавов, разработанная итальянскими фирмами «ФАТА» и «Тексид».

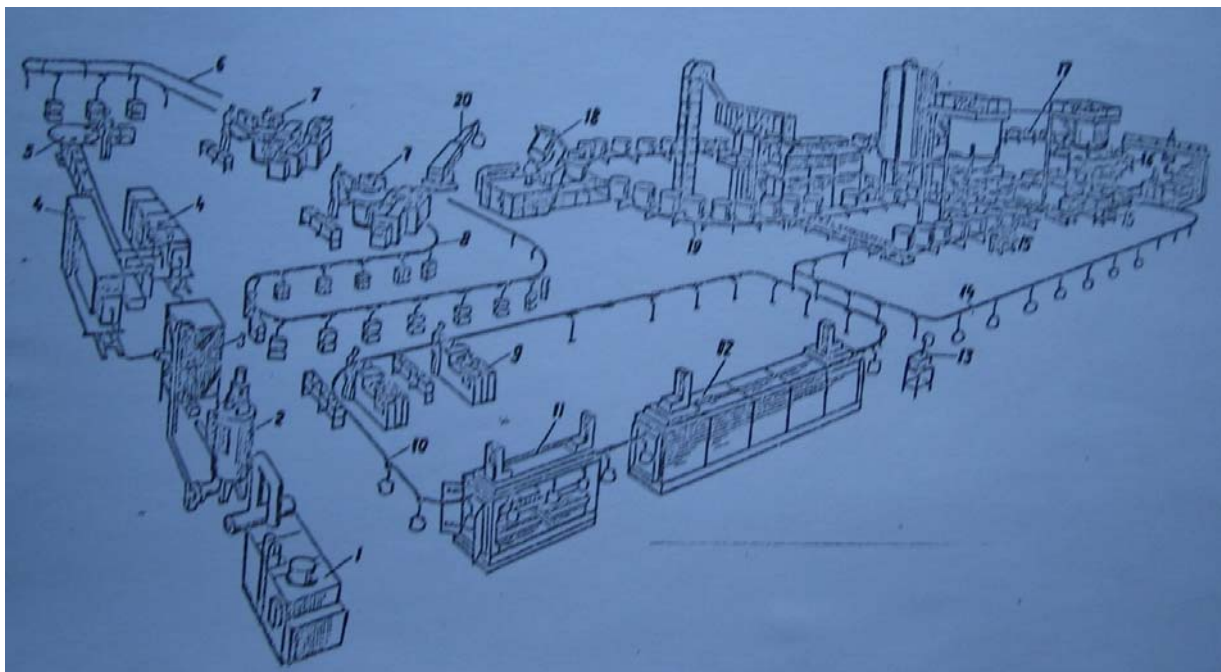


Рис. 6.7. Схема полуавтоматической линии изготовления отливок по газифицируемым моделям.

1 – установка-классификатор гранул полистирола; 2 – предвспениватель; 3 – бункер для выдержки и накопления; 4 – автомат вспениватель; 5 – стол комплектации; 6, 8, 10, 14, 17, 19 – конвейеры; 7 – полуавтомат для склеивания модельного блока; 11 – камера окраски моделей; 12 – камера сушки; 13, 18, 20 – манипуляторы; 15 – формовочный стол; 16 – участок заливки.

Суспензионный полистирол рассеивается по фракциям на установке 1 и подается в спениватель 2, после чего пневмотранспортом перемещается на участок изготовления моделей, в бункер накопитель 3, и далее к автоматам 4 для изготовления моделей. С целью упрощения конструкции пресс-форм, модели делают по частям (чаще всего по половинкам). После изготовления частей моделей, они передаются по конвейеру на стол 5 для комплектования, где раскладываются по ящикам и далее поступают на полуавтоматы 7 для склеивания частей. Собранные модели по конвейеру 8 поступают на участок, где на специальных полуавтоматах 9 собираются в модельные блоки, которые на специальных подвесках по конвейеру 10 поступают в агрегат для окраски 11 и сушило 12. После выхода из сушила модельные блоки манипулятором 13 перевешиваются на конвейер 14, который приносит их на участок формовки 15. Здесь манипуляторы снимают блоки с конвейера и помещают их в опоки-контейнеры, удерживая блоки в вертикальном поло-

жении во время засыпки песком. Затем формы с блоками моделей подаются на участок 16 с использованием робота-заливщика, который перемещается с ковшом расплавленного металла от плавильной печи к месту заливки. После заливки формы охлаждаются, перемещаясь по конвейеру 17 к месту выбивки, где с помощью манипулятора 18 опрокидываются на выбивную решетку. Затем опоки по конвейеру 19 возвращаются на участок формовки, а отливки с помощью манипулятора 20 загружаются в транспорт для подачи на участок финишной обработки.

Следует отметить, что подобные автоматические линии могут быть многономенклатурными, – производить различные отливки без переналадки самой линии, что является предпосылкой для создания гибких производственных систем.

В качестве недостатков способа литья по газифицируемым моделям следует указать на безвозвратные потери материала разовой модели и на выделение токсичных продуктов термодеструкции модели, что требует соответствующих защитных мероприятий.

В варианте процесса с вакуумированием формы во время ее заливки продукты термодеструкции модели могут поступать непосредственно из формы в установку для каталитического их дожигания до углекислого газа и паров воды.

6.2. ЛИТЬЕ ПО МОДЕЛЯМ, ПОЛУЧЕННЫМ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ

Сущность процесса.

Этот процесс предназначен для изготовления опытных партий отливок деталей различного назначения в автомобилестроении, авиастроении, ракетной и космической технике, его используют для медицинских целей и получения художественных изделий.

Лазерная стереолитография (ЛС), основана на фотоинициированной лазерным излучением или излучением ртутных или люминисцентных ламп полимеризации. Сущность этой технологии – создание с помощью инициирующего (например, лазерного) излучения в жидкой реакционно-способной среде активных центров (радикалов, ионов, активированных комплексов). Взаимодействуя с молекулами мономера, они вызывают рост полимерных цепей, т.е. процесс полимеризации, вследствие которого происходит изменение фазового состояния среды – в обработанной области образуется твердый полимер.

Особенности технологического процесса.

Технология предусматривает создание трехмерной электронной модели будущей отливки системой САД, которая разбивается на тонкие слои. Затем на лазерной стереолитографической установке эти слои реально воссоздаются и соединяются воедино. В результате выстраивается физический объект в виде мастер-модели из фотополимера для литья по выплавляемым моделям. Полученная модель с литниковой системой формируется в гипсодиансовой смеси. Форму прокалывают до полного удаления мастер-модели. Для обеспечения высокого качества отливок заливка форм может происходить на установке для центробежного литья. Затем форму разрушают, отделяется литниковая система, производится зачистка деталей.

Преимущества процесса - резкое (в 5...10 раз) сокращение времени на разработку и внедрение новых изделий; значительное сокращение времени и средств на технологическую подготовку производства, полное исключение ручного труда при изготовлении мастер-модели; изготовление сложных деталей (моделей) и оснастки, спроектированных в различных САПР; достижение высокой точности изготавливаемых отливок.

Схема установки приведена на рис. 6.8 (техническая характеристика: отклонения размеров моделей не более 0,1 мм; габаритные размеры до 250x250x250 мм; масса модели не более 5 кг). Отливки могут быть изготовлены из любого литейного материала.

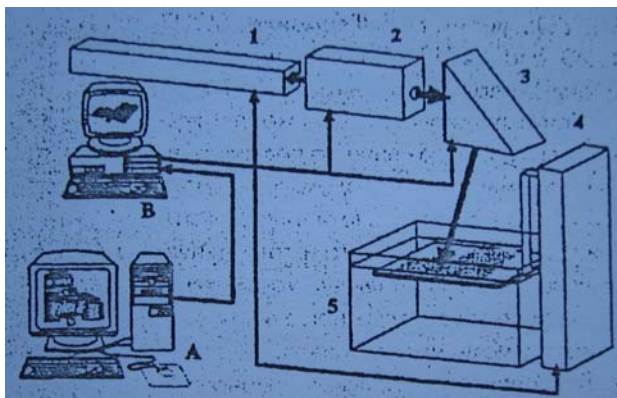


Рис. 6.8. Схема установки для изготовления моделей с использованием лазерной стереолитографии. 1 – HeCd-лазер; 2 – акустико-оптический затвор; 3 – двухкоординатный сканатор; 4 – элеватор; 5 – емкость с жидким фотополимером.

6.3. НЕПРЕРЫВНОЕ И ПОЛУНЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ

Сущность способа.

Непрерывное литье (непрерывная разливка металла) предполагает разливку расплава непосредственно из плавильной печи или ковша в водоохлаждаемый кристаллизатор, из которого затвердевшая отливка непрерывно вытягивается с помощью затравки и специального привода. Полунепрерывное литье является той разновидностью способа, в которой через определенные промежутки времени все механизмы возвращаются в исходное состояние и процесс повторяется.

Процесс непрерывного литья осуществляется следующим образом (рис. 6.9). Расплав из ковша 1 равномерно и непрерывно поступает в водоохлаждаемую металлическую форму-кристаллизатор 2. Подача первых порций расплава начинается тогда, когда в выпускное отверстие кристаллизатора установлена соединенная с приводом затравка, поперечное сечение которой повторяет сечение отливки. Частично затвердевшая часть 3 отливки (слитка, прутка, заготовки прямоугольного, квадратного сечения, трубы, станы станка и др.) непрерывно извлекается валками 4 или иными устройствами, если требуется, отливка разрезается на заготовки пилой 5.

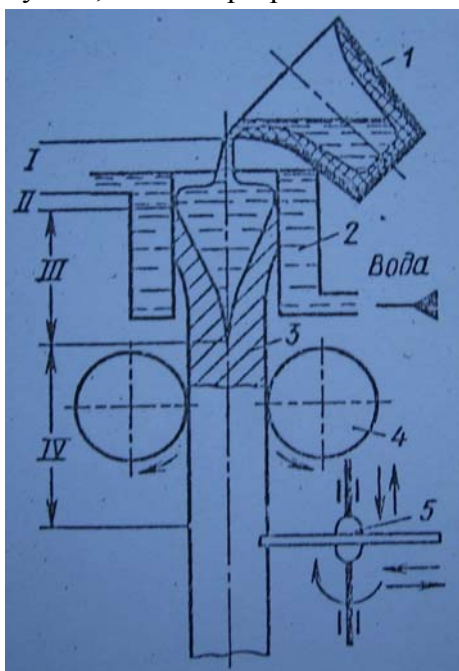


Рис. 6.9. Схема установки для непрерывного литья (I - IV – температурные зоны слитка).

1 – ковш; 2 – форма-кристаллизатор; 3 – отливка; 4 – валки; 5 – пила.

Непрерывное литье зародилось в XIX в металлургической промышленности в эпоху промышленного освоения производства стали. Цель, которую ставили металлурги при разработке этого процесса, заключалась в получении литой заготовки такого сечения, которое позволило бы уменьшить число проходов при ее прокатке и усилия прокатки, повысить производительность. Однако эта проблема была решена только во второй половине XX в. В настоящее время непрерывное литье широко используется в металлургической промышленности для разливки стали,

цветных металлов и сплавов в слитки, получения чугунных напорных труб, а также в машиностроении для получения трубных заготовок и заготовок сложного поперечного сечения.

Особенности процесса формирования непрерывной отливки обусловлены тем, что в кристаллизаторе в разных его зонах по высоте или длине в каждый данный момент одновременно происходят все последовательные стадии охлаждения и затвердевания расплава (см. рис. 6.9.): I- кристаллизатор заполняется расплавом; II – отвод теплоты перегрева; III – кристаллизация; IV- охлаждение отливки. Высокая интенсивность охлаждения расплава способствует направленной его кристаллизации, уменьшению ликвационной неоднородности, неметаллических и газовых включений, а непрерывная подача расплава в верхнюю часть кристаллизующей отливки – постоянному питанию фронта растущих кристаллов, устранению усадочных дефектов (раковин, рыхлот, пористости). Таким образом, *сущность процесса непрерывного литья заключается в возможности создания условий направленной кристаллизации и питания отливки.*

Как правило, заготовки, полученные способом непрерывного литья, имеют плотное, без усадочных дефектов строение, малую ликвационную неоднородность и газосодержание, чистую поверхность, достаточно высокую точность размеров. Однако высокая скорость охлаждения расплава во многих случаях приводит к образованию значительных внутренних напряжений в отливках, а иногда к трещинам.

Наряду с указанными особенностями формирования отливки, способствующими повышению качества металла, техническая реализация процесса в производстве показывает следующие преимущества этого способа литья: возможность получения отливки постоянного поперечного сечения, неограниченной длины; увеличение выхода годного путем уменьшения расхода металла на прибыли и донные части слитков; уменьшение расходов на изготовление изложниц и литейных форм; повышение качества металла, точности и улучшение поверхности отливок; автоматизация процесса разлива расплава, возможность создания непрерывно действующих агрегатов для получения слитков и последующей их прокатки в профили или литых заготовок деталей машин и последующей их обработки вплоть до готового изделия; полное исключение трудоемких операций изготовления литейных форм, выбивки, обрубки, очистки отливок; устранение из литейного цеха формовочных и стержневых смесей и связанное с этим существенное улучшение условий труда и уменьшение вредного воздействия литейного процесса на окружающую среду.

Таким образом, *непрерывное литье — это прогрессивный материало- и трудо-сберегающий технологический процесс, позволяющий повысить качество отливок, производительность и улучшить условия труда при меньших энергозатратах.*

Однако непрерывное литье не позволяет получать отливки сложной конфигурации. Конфигурация изделия определяется возможностью его непрерывного извлечения из кристаллизатора. По-видимому, расширение области применения этого прогрессивного процесса литья для машиностроительных деталей связано с необходимостью пересмотра устоявшихся конструктивных решений тех или иных деталей и узлов машин, разработки таких конструкций деталей, которые могли бы быть изготовлены этим способом.

Важнейшим технологическим параметром процесса непрерывного литья является интенсивность охлаждения расплава, определяющая скорость кристаллизации отливки и соответственно ее качество, а также производительность процесса. Увеличение скорости кристаллизации способствует созданию условий направленной кристаллизации и повышению качества литого металла, производительности установок.

Интенсивность отвода теплоты от расплава в кристаллизаторе ограничена тем, что вследствие усадки отливки между кристаллизующейся корочкой металла и стенками

кристаллизатора образуется зазор, снижающий скорость отвода теплоты. Для устранения этого явления на определенном участке (по высоте) кристаллизатор делают с обратной конусностью. Однако при недостаточно точном соблюдении температурных режимов литья и скорости вытягивания отливки обратная конусность повышает вероятность обрыва корочки металла, появления в ней подрывов и трещин. Для повышения интенсивности охлаждения отливки процесс осуществляют так, что в коротком кристаллизаторе I формируется только корочка толщиной, достаточной для того, чтобы при ее извлечении из кристаллизатора не образовалось надрывов и трещин, а основное количество теплоты отводят погружением отливки в воду 2 в зоне вторичного охлаждения (рис. 6.10, а). Такую схему процесса используют для литья алюминиевых сплавов.

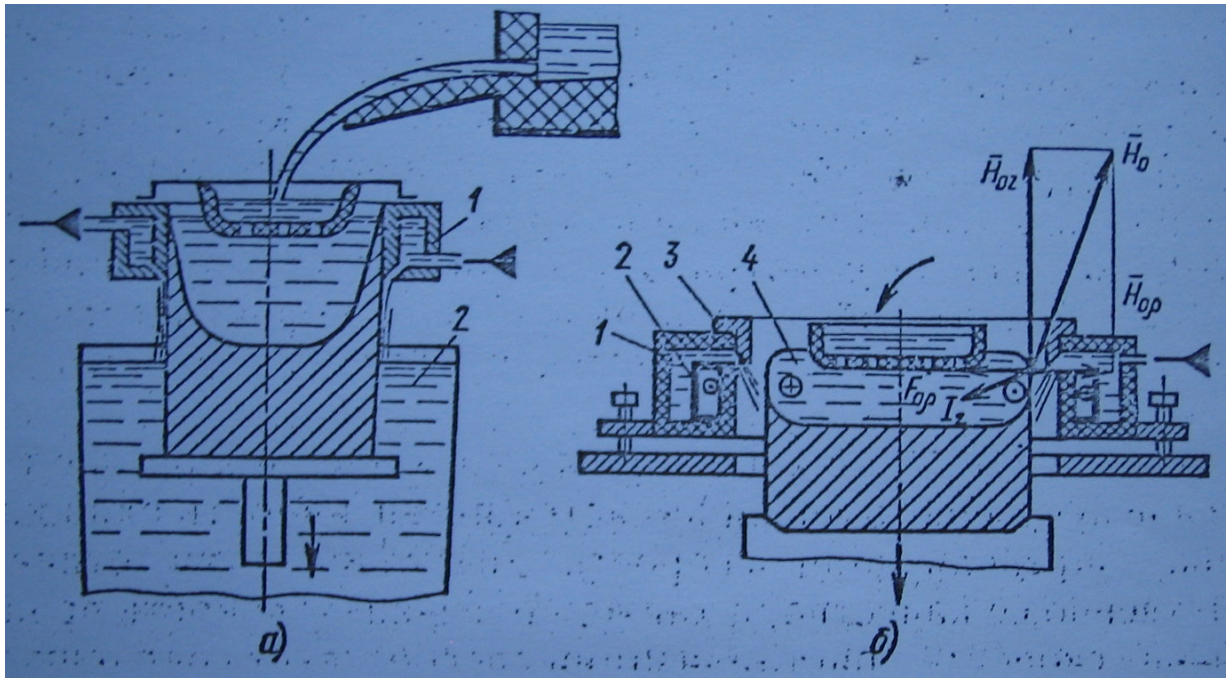


Рис. 6.10. Схемы литья алюминиевых слитков в кристаллизаторе: *а* – коротком; *б* – электромагнитном (ЭМК).
 1 – кристаллизатор; 2 – вода; 3 – индуктор; 4 – расплав.

Благодаря высокой теплопроводности этих сплавов при погружении отливаемого слитка в воду скорость кристаллизации повышается, и направление кристаллизации приближается к осевому. Это способствует повышению качества металла.

Таким способом изготавливают слитки различных размеров с круглым, квадратным, прямоугольным поперечным сечением для последующей прокатки или других способов обработки давлением.

Однако перед прокаткой производят механическую обработку поверхности слитков для устранения неслитин, ликвационных наплывов, приводящих к образованию дефектов в прокате. Можно повысить качество слитков, снизить трудоемкость их подготовки к прокатке, используя способ литья в электромагнитный кристаллизатор (ЭМК). Сущность процесса заключается в том, что формообразование в ЭМК происходит благодаря воздействию электромагнитных сил, возникающих при взаимодействии вихревых токов, наведенных в расплаве с магнитным полем высокочастотного индуктора (рис. 6.10, б). Ток в кольцевом индукторе 3 создает магнитное поле напряженностью \bar{H}_0 . Вектор \bar{H}_0 на поверхности расплава 4 имеет две составляющие – аксиальную \bar{H}_{0z} и

радиальную \overline{H}_{0p} . Составляющая \overline{H}_{0z} , взаимодействуя с током I_2 в расплаве, создает радиально направленную силу F_{0p} . Электромагнитная сила F_{0p} способна удержать расплав от растекания и придать ему в поперечном сечении форму индуктора с размерами, зависящими от интенсивности магнитного поля, таким образом, роль кристаллизатора выполняет магнитное поле, удерживающее жидкий металл. Охлаждающая вода из коробки I подается на поверхность расплава так, чтобы граница жидкой и твердой зон слитка находилась на уровне середины индуктора. Распределение магнитного поля индуктора по высоте жидкой зоны слитка влияет на форму и качество поверхности слитка. Для получения требуемой конфигурации магнитного поля используют экран 3 из немагнитного металла, также охлаждаемый водой. Скорость извлечения слитка зависит от его размеров, свойств сплава и интенсивности охлаждения. Отсутствие контакта расплава со стенками кристаллизатора, высокая скорость охлаждения позволяют улучшить поверхность слитка, исключить ее механическую обработку перед прокаткой, повысить эффективность производства.

При литье сталей короткий кристаллизатор использовать сложно, так как теплопроводность сталей в 2,5...3 раза меньше, чем алюминиевых сплавов, в коротком (150...300 мм) кристаллизаторе не образуется корочка достаточной для вытягивания толщины. Поэтому при литье стали применяют длинные (1000...1500 мм) кристаллизаторы, а выходящую из последних корочку охлаждают интенсивным обрызгиванием водой.

При литье чугуна и медных сплавов используют стальные водоохлаждаемые кристаллизаторы, а также графитовые. Длину кристаллизатора и скорость вытягивания при литье чугуна согласуют так, чтобы не производить вторичного охлаждения отливки для предупреждения отбела. При высокой скорости охлаждения чугуна возможно образование отбела. Однако благодаря отводу значительного количества теплоты от внутренних слоев отливки через тонкую наружную отбеленную корочку, при выходе отливки из кристаллизатора цементит в этой корочке разлагается — происходит самоотжиг отливки. Таким образом, скорость литья, длина кристаллизатора, температурные режимы литья зависят от свойств сплава, из которого изготавливается отливка.

Полу непрерывное литье труб и втулок из чугуна.

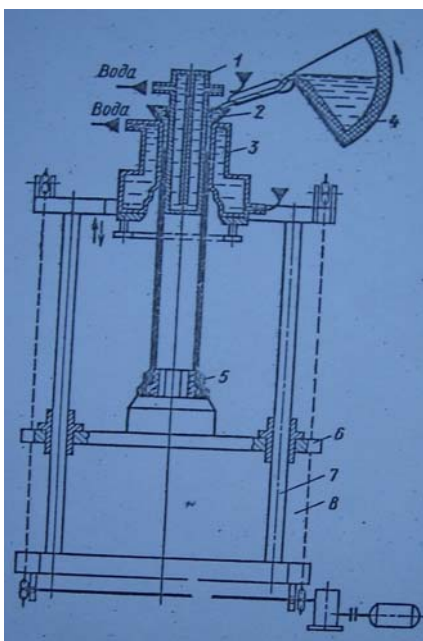


Рис 6.11. Установка полу непрерывного литья труб.

1 – водоохлаждаемый стержень; 2 – литниковая система; 3 – кристаллизатор; 5 – ковш; 6 – стол; 7 – колонны; 8 – цепь привода стола.

При полу непрерывном литье труб (рис. 6.11) в кристаллизатор 3 устанавливают водоохлаждаемый стержень 1 (с конусностью 0,4 %), выполняющий отверстие в трубе. Перед началом заливки стол 6 , на котором располагается стержень 5 с кольцевым пазом для захвата трубы, поднят. Жидкий чугун из автоматического дозирующего ковша 4 по литниковой системе 2 , состоящей из лотка и чаши, подается в кристаллизатор. Через питатели в дне чаши расплав попадает между стенкой кристаллизатора и водоохлаждаемым металлическим стержнем. Когда уровень расплава в кристаллизаторе поднимается настолько,

что до верхнего его края остается 25...30 мм, начинается вытягивание трубы, при этом расплав продолжает непрерывно поступать в кристаллизатор. Стол 6 машины перемещается по двум колоннам 7 с помощью цепей 8 или тросов.

Для устранения схватывания расплава со стенками кристаллизатора последний совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси трубы. Это движение выполняется по двухтактной схеме. Первый такт - опускание кристаллизатора со скоростью вытягивания трубы (относительного движения кристаллизатора и трубы не происходит); второй такт — подъем кристаллизатора в исходное положение со скоростью, в 2...3 раза большей скорости вытягивания. Частота движения зависит от диаметра трубы. По окончании литья труба специальным устройством (манипулятором) снимается со стола машины, стол возвращается в исходное положение и цикл повторяется. Скорость вытягивания трубы внутренним диаметром 300 мм и длиной 10 м из кристаллизатора высотой 0,5 м составляет около 2,4 м/мин.

Трубы, полученные таким способом, имеют хорошую внутреннюю и наружную поверхности, мелкозернистую структуру, высокую плотность. Полунепрерывным литьем можно изготавливать трубы диаметром до 1000 мм с толщиной стенки до 50 мм и длиной до 10 м. Подобным образом изготавливают втулки для гильз крупных дизелей.

Непрерывное литье используют также для получения фасонных профилей, квадратных, круглых, шестигранных, прямоугольных, с отверстиями, шестерен и т.д. Заготовки изготавливают из чугуна, медных сплавов – бронз, латуней.

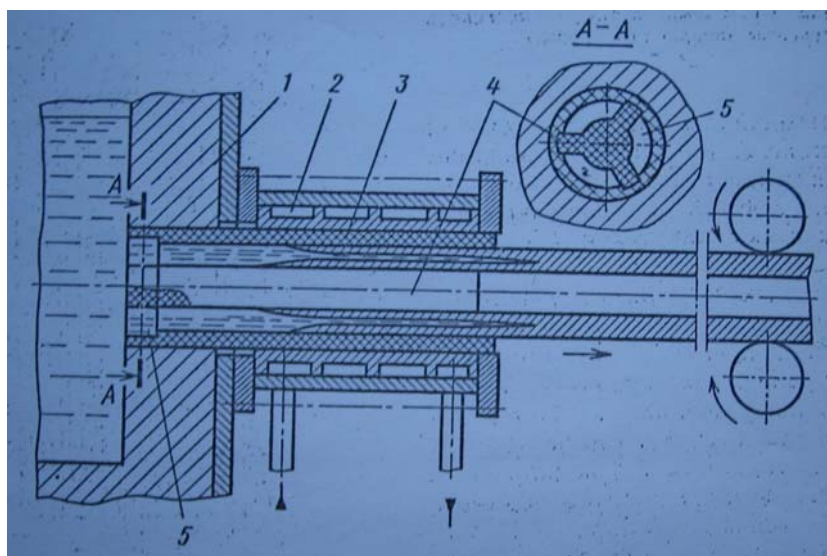


Рис. 6.12. Схема кристаллизатора для горизонтального непрерывного литья трубчатых заготовок и профилей.

1 – раздаточная печь; 2 – водоохлаждаемая рубашка; 3 – графитовый вкладыш; 4 – стержень; 5 – отверстия для подвода расплава.

Для литья таких заготовок используют заготовки горизонтального типа с графитовым водоохлаждаемым кристаллизатором (рис.6.12). В стенке раздаточной печи 1 устанавливают кристаллизаторы, состоящие из водоохлаждаемой рубашки 2 и графитовых вкладышей 3, а при необходимости получения отверстия в отливке – стержень 4 с отверстиями 5 для прохода расплава. В начале процесса внутрь кристаллизатора вводят затравку-захват. В разогретую печь заливают расплав и после выдержки для формирования отливки в кристаллизаторе начинают извлекать ее из кристаллизатора за затравку-захват. По мере извлечения отливку разрезают на мерные заготовки. Таким способом из чугуна получают заготовки для деталей гидроаппаратуры, направляющих прессов и металлорежущих станков, а из медных сплавов — для втулок, гаек, корпусов гидро- и пневмоаппаратуры.

Непрерывное литье заготовок из чугуна и медных сплавов.

С этой целью созданы и эксплуатируются комплексные автоматизированные линии. Особенно перспективно в машиностроении изготовление профилей или заготовок

из сплавов, не поддающихся обработке давлением: чугуна, оловянных и оловянно-свинцовых бронз и т. д. Это позволяет достичь высокой экономической эффективности — получить заготовку с минимальными припусками на обработку резанием, повышенной точности при высокой производительности.

6.4. ЛИТЬЕ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ.

Этот способ используют при изготовлении крупногабаритных фасонных отливок типа оболочек, корпусов с толщиной стенки до 3...4 мм из алюминиевых и магниевых сплавов. Многие магниевые и высокопрочные алюминиевые сплавы имеют широкий интервал кристаллизации, и вследствие этого при затвердевании, особенно в песчаных формах, в отливках из таких сплавов образуются усадочные дефекты — пористость, рыхлоты.

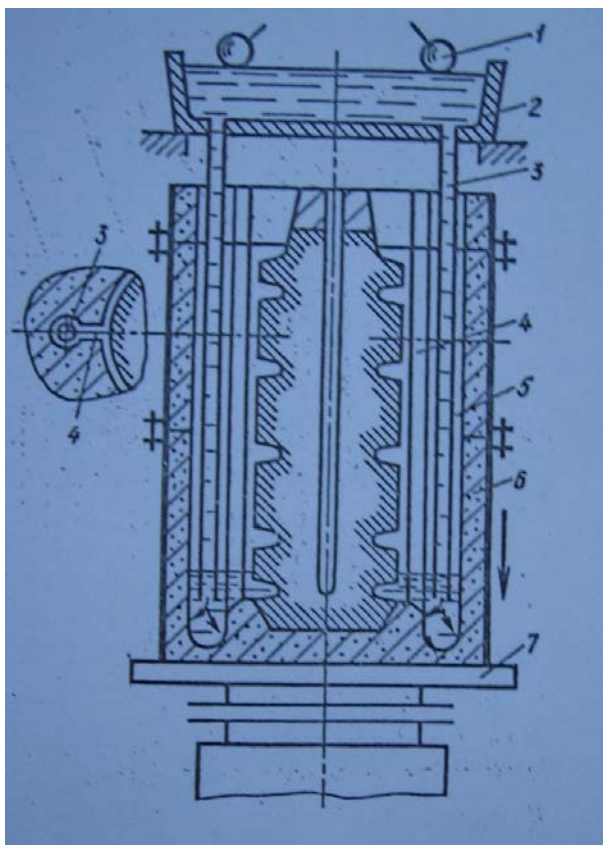


Рис. 6.13. Схема литья с последовательным заполнением формы.

1 — стопор; 2 — литниковая чаша; 3 — трубки для подвода расплава в форму; 4 — щелевые питатели; 5 — колодец; 6 — форма; 7 — стол.

Для создания условий направленного затвердевания и улучшения питания сложных крупногабаритных отливок из таких сплавов В. Д. Храмов предложил способ литья с последовательным заполнением формы (рис. 6.13). Литейная форма 6 крупной отливки устанавливается на столе 7, имеющем гидравлический привод. Литниковая система состоит из вертикальных щелевых питателей 4 и вертикальных колодцев 5, расположенных по периметру отливки. Внутри колодцев расположены обогреваемые металлические трубки 3, закрепленные в обогреваемой чаше 2. Отверстия трубок в чаше закрыты шаровыми стопорами 1. Расплав заливают в чашу 2, затем

поднимают шаровые стопоры 1, и после того, как концы трубок окажутся затопленными на глубину. Скорость опускания стола с формой, расход расплава через трубки из чаши и скорость отвода теплоты от расплава формой рассчитывают так, чтобы обеспечивалась последовательная кристаллизация отливки.

Такой способ позволяет получить плотные отливки без усадочных дефектов и пористости.

6.5. ЛИТЬЕ ВЫЖИМАНИЕМ.

Сущность этого способа литья заключается в том, что для улучшения заполнения формы и повышения качества отливки процесс осуществляют так, чтобы геометрические размеры полости формы изменялись по мере заполнения расплавом и затвердевания отливки. Это позволяет уменьшить потери теплоты расплавом и заполнять формы тонкостенных крупногабаритных отливок, а также осуществить компенсацию усадки отливки путем уменьшения ее объема при кристаллизации.

Первая из указанных особенностей формирования и в значительной мере вторая реализуются при литье выжиманием тонкостенных крупногабаритных отливок, предложенном Е. С. Стебаковым. Процесс может быть осуществлен по двум схемам: поворотом подвижной полуформы вокруг неподвижной оси (рис. 6.14, а) и плоскопараллельным перемещением одной или двух подвижных полуформ (рис. 6.14, б).

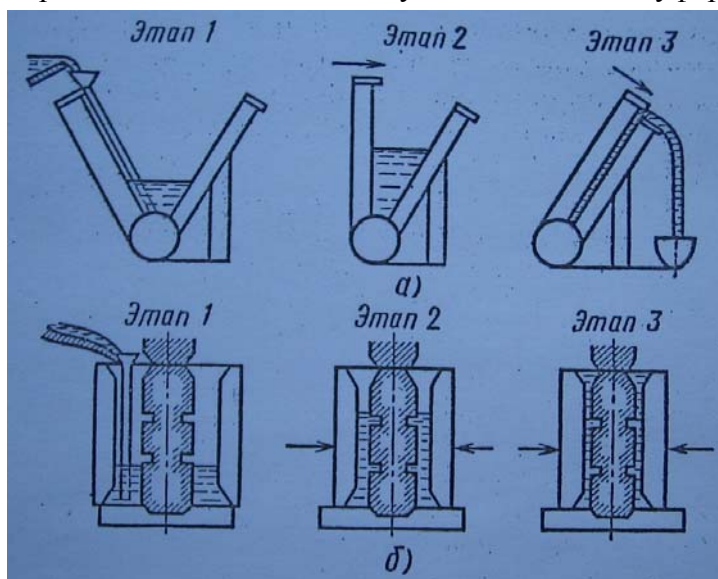


Рис. 6.14. Схемы технологических процессов литья выжиманием.

а – поворотом подвижной полуформы; *б* – плоскопараллельным перемещением полуформ.

После подготовки и сборки формы производят заливку расплава в нижнюю часть (металлоприемник) литейной установки (этап 1). Затем подвижную полуформу поворачивают (этап 2), и расплав поднимается в установке, заполняя полость между полу-

формами и боковыми стенками, закрывающими установку с торцов. В начальный момент сближения полуформ конфигурация объема расплава такова, что потери им теплоты в форме минимальны, в момент окончания сближения полуформ (этап 3) расстояние между ними соответствует толщине тела отливки, а движение излишка расплава, сливающегося из установки в приемный ковш, способствует уменьшению потерь теплоты и хорошему заполнению форм отливок с весьма малой (до 2 мм) толщиной стенки при их значительных (1000х3000 мм) габаритах. После затвердевания отливки подвижная полуформа возвращается в исходное положение, а отливка извлекается из установки.

Машины с поворотом подвижной полуформы применяют для изготовления тонкостенных крупногабаритных отливок типа панелей из алюминиевых сплавов, машины с плоскопараллельным перемещением полуформ – для отливок типа оболочек.

Отливки получают в песчаных формах, металлических формах со стержнями, комбинированных формах.

Поскольку таким способом производят тонкостенные отливки, то к точности технологической оснастки, ее жесткости, стойкости к короблению при эксплуатации предъявляются повышенные требования. Кроме того, в литейной установке предусматривают устройства для регулирования положения стержней и металлических форм при сборке, что необходимо для достижения требуемой точности отливок.

Основные параметры технологического процесса

Основными параметрами технологического процесса являются скорость перемещения подвижной полуформы и закон скоростей подъема уровня расплава в установке, температуры заливки расплава в металлоприемник, начала выжимания, нагрева металлоприемника и металлических полуформ, а также толщина и свойства теплоизоляционного покрытия на поверхностях, металлических полуформ.

Температуру заливки алюминиевых и магниевых сплавов в металлоприемник установки принимают в пределах $T_{лик}+(80...100)^\circ\text{C}$, а начала выжимания $T_{лик}+(20...40)^\circ\text{C}$; для широкоинтервальных сплавов процесс выжимания начинают при температуре ликвидуса данного сплава.

Температура нагрева металлоприемника и металлических полуформ составляет

обычно 200...320 °С.

Закон скоростей подъема уровня расплава в установке принимают таким, чтобы, подойдя к рабочей полости формы, расплав приобрел оптимальную скорость течения 0,5...0,7 м/с. Рабочая полость формы должна заполняться с оптимальной постоянной скоростью. В конце процесса необходимо снижение скорости, чтобы исключить выброс расплава из остановки по инерции. С учетом этого настраивают привод литейной установки.

Отливки, полученные литьем выжиманием, имеют хорошие структуру и механические свойства благодаря тому, что формирование отливки происходит одновременно с заполнением литейной формы и заканчивается в основном в момент окончания ее заполнения. Это обеспечивает питание затвердевающей отливки. Изготавливают отливки из алюминиевых сплавов АК7, АК9 и др.

Экономическая эффективность процесса литья выжиманием тонкостенных крупногабаритных отливок определяется исключением трудоемких операций штамповки, сварки, клепки, сборки многочисленных деталей в один узел, уменьшением массы конструкции таких узлов.

6.6. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И ШТАМПОВКА ИЗ РАСПЛАВА.

Сущность процессов

Эти процессы позволяют в значительной мере компенсировать усадку расплава при кристаллизации благодаря уменьшению объема полости формы. Расплав заливают в неразъемную или разъемную металлическую форму, достаточно прочную, чтобы выдержать давление, передаваемое на отливку поршнем (рис. 6.15, а).

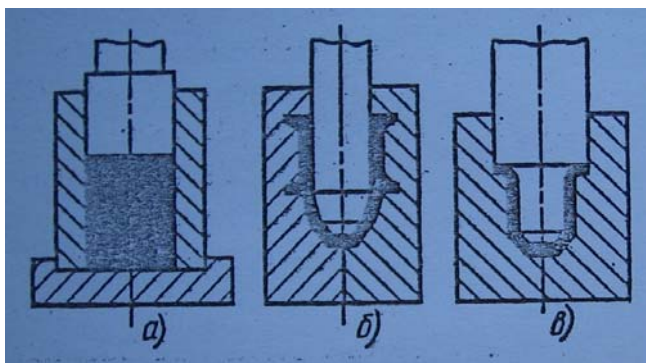


Рис. 6.15. Схема кристаллизации под давлением поршня (а), штамповка из расплава в закрытой (б) и открытой (в) формах.

При приложении высоких давлений (до 30 МПа и более) и перемещении поршня вследствие пластических деформаций кристаллизующейся корочки происходит уменьшение объема полости формы. В результате расплав поступает в образующиеся усадочные поры, рыхлоты и питает кристаллизующую отливку. Под действием внешнего давления растворенные в расплаве газы практически не выделяются из раствора. Высокие скорости кристаллизации расплава в металлической форме благодаря отсутствию зазора между стенками отливки и формы способствуют измельчению структуры. Эти особенности формирования позволяют получать плотные, без усадочных дефектов, литые заготовки, обладающие высокой прочностью, большим, в 2...4 раза, чем отливки в песчаные формы относительным удлинением, высокой ударной вязкостью. Отливки, полученные кристаллизацией под поршневым давлением, обладают механическими свойствами, одинаковыми с поковками.

Важным преимуществом этого процесса является отсутствие расхода металла на литники и прибыли.

Кристаллизацию под давлением поршня применяют для изготовления слитков, фасонных отливок с толщиной стенок до 8 мм из медных, алюминиевых, цинковых сплавов, чугуна, стали.

Штамповка из расплава (рис. 6.15, б, в) совмещает, по существу, заполнение формы выжиманием и кристаллизацию под давлением. Расплав заливают в разъемную металлическую форму определенного уровня и затем погружают пуансон, который выжимает расплав в полость формы. Давление на пуансон используется для уплотнения кристаллизующейся отливки и заполнения формы.

Штамповку из расплава используют для получения отливок с открытой полостью или отверстием и сложными наружными очертаниями.

В зависимости от конфигурации отливок штамповку из расплава выполняют в закрытой или открытой пресс-форме. Это, как и точность дозирования расплава, влияет на точность отливок. При штамповке в закрытой форме отливки имеют различную толщину дна; в открытой форме все внутренние продольные размеры могут быть неточными, вплоть до незаполнения формы.

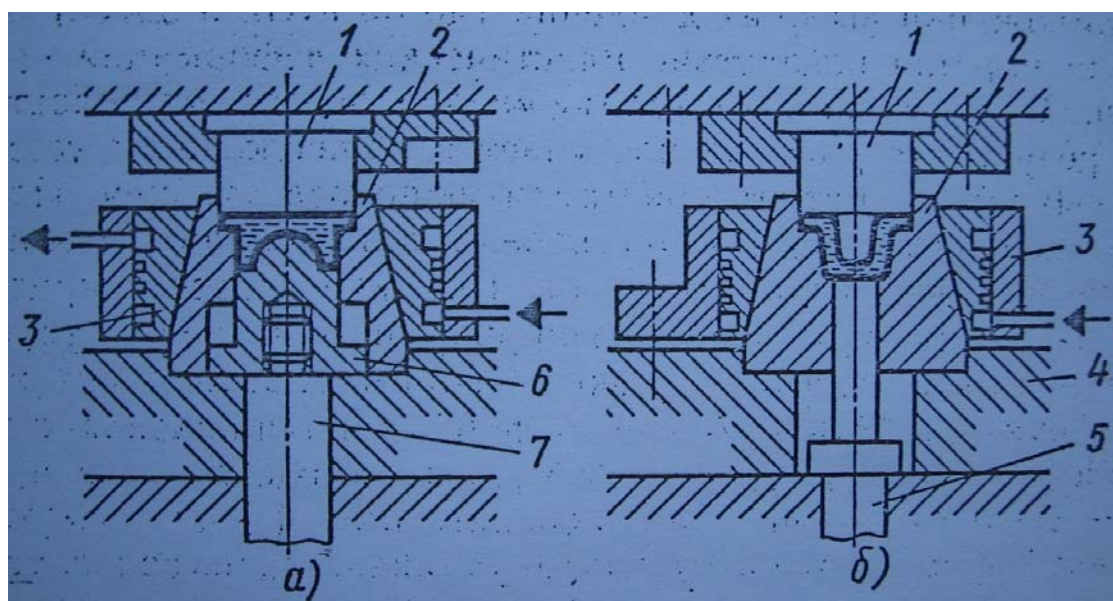


Рис. 6.16. Формоблоки для кристаллизации под давлением (а) и штамповки из расплава (б).

1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – обойма; 4 – нижняя плита прессы; 5, 6 – выталкиватели; 7 – шток привода толкателя.

Формы для кристаллизации под давлением и штамповки из расплава должны быть прочными. Детали форм, соприкасающиеся с расплавом, изготавливают из сталей 3Х2В8Ф, 4ХВ8, Х12М и подвергают термической обработке. Обычно применяют универсальные формоблоки (рис. 6.16) со сменными матрицами 2, пуансонами 1 и выталкивателями 5, 6. Матрицу 2 устанавливают в обойму 3, имеющую систему для подачи охлаждающей воды. Обойму 3 крепят на нижней плите 4 прессы. Выталкиватель 6 опирается на плиту 4 и поднимается штоком 7. Пуансон 1 монтируют на верхней плите прессы.

Основные параметры технологических процессов

Технологические режимы кристаллизации под давлением и штамповки из расплава зависят от свойств сплава, размеров и конфигурации отливки, предъявляемых к ней требований.

Важнейшими параметрами процесса являются давление прессования, температурные режимы, скорость опускания пуансона. Давление прессования назначают с учетом интервала затвердевания сплава, прочности и пластичности его при затвердевании,

конфигурации отливки, продолжительности пребывания сплава в форме до приложения давления. Для широкоинтервальных сплавов давление прессования обычно в 2 раза больше, чем для сплавов с узким интервалом затвердевания. Чем дольше расплав находится в форме до приложения нагрузки, тем большее давление требуется для прессования.

Температура матрицы и пуансона должна находиться в пределах 180...250 °С. При работе пресс-форма не должна нагреваться выше 400 °С, поэтому предусматривают охлаждение пресс-форм водой, протекающей по каналам ее обоймы. Температура заливки расплава в форму должна быть на 50...100 °С выше температуры ликвидуса сплава. Повышение температуры заливки приводит к образованию осевой усадочной пористости или раковин, а снижение - к быстрому затвердеванию и необходимости приложения значительных усилий прессования.

Скорость опускания пуансона при штамповке из расплава должна быть не более 0,5 м/с. Высокие скорости прессования вызывают замешивание воздуха, находящегося между зеркалом расплава в матрице и пуансоном, в расплав и образование дефектов. Продолжительность выдержки под давлением зависит от длительности затвердевания отливки, которая может быть определена по известным зависимостям тепловой теории литья [2].

Процесс штамповки из расплава и кристаллизации под давлением обычно осуществляют на гидравлических прессах.

6.7. ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ.

Получение заготовок деталей машин любым способом литья состоит в приготовлении металлического расплава и заливке его тем или иным способом в литейную форму. В процессе заливки и охлаждения в литейной форме расплав взаимодействует с газами воздуха и среды литейной формы, материалами, из которых она изготовлена. Указанные факторы, а также то, что не всегда удается полностью компенсировать усадку расплава при затвердевании, ухудшают свойства литого металла по сравнению с металлом, обработанным давлением. Однако заготовки, получаемые обработкой давлением, часто имеют значительно бóльшие, чем отливки, припуски на обработку резанием. При использовании поковок для изготовления крупных деталей машин велики отходы металла в стружку.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона АН Украины разработан способ обработки металлов, позволяющий получать литьем точные крупные заготовки со свойствами металла, не уступающими поковке. Этот способ получил название «электрошлаковое литье».

Сущность процесса.

Электрошлаковое литье (ЭШЛ) - это способ получения фасонных отливок в водоохлаждаемой металлической литейной форме — кристаллизаторе, основанный на применении электрошлакового переплава (ЭШП) расходуемого электрода. Отливку получают переплавом электродов из металла требуемого химического состава. Источником теплоты при ЭШЛ является шлаковая ванна, нагреваемая вследствие прохождения через нее электрического тока (рис. 6.17). В начале процесса в водоохлаждаемый медный кристаллизатор *б* заливают предварительно расплавленный шлак специального состава. Электрический ток подводится к переплавляемым электродам *7* и затравке *1* в нижней части кристаллизатора *б*. Шлаковая ванна обладает малой электропроводностью, поэтому при прохождении через нее тока выделяется большое количество теплоты, Дж:

$$Q = I^2 R_{ш} t,$$

где *I* – сила тока; *R_ш* – электрическое сопротивление шлаковой ванны; *t* - время

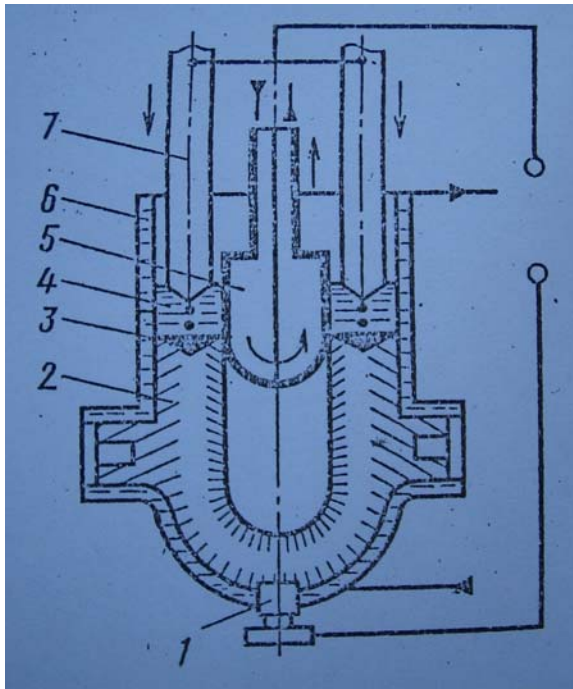


Рис. 6.17. Схема получения отливки электрошлаковым литьем. 1 – затравка; 2 – отливка; 3 – расплав; 4 – шлаковая ванна; 5 – стержень; 6 – кристаллизатор; 7 – электроды.

процесса. Шлаковая ванна нагревается до 1700 °С и более, благодаря чему погруженные в нее концы электродов оплавляются. Капли расплавленного металла проходят через ванну шлака 4, собираются в зоне кристаллизации, образуя под слоем шлака металлическую ванну 3. Металлическая ванна непрерывно пополняется в верхней части расплавом от плавящихся электродов и последовательно затвердевает в нижней части вследствие отвода теплоты через стенки кристаллизатора. Для получения отливки 2 электроды 7 по мере их оплавления и затвердевания

отливки постепенно поднимаются вверх. Для образования полости в отливке водоохлаждаемый металлический стержень 5 также перемещается вверх.

Таким образом, *сущность процесса электрошлакового литья заключается в том, что приготовление расплава (плавка) совмещено по месту и времени с заполнением литейной формы: отливка последовательно наплавляется в форме.*

Литейная форма при ЭШЛ выполняет две функции: служит устройством для приготовления расплава и для формирования отливки. Это позволяет использовать преимущества процесса ЭШЛ для повышения качества металла отливок.

Качество отливок.

При ЭШЛ качество отливок обусловлено особенностями формирования отливки. Перенос капель расплава с конца электрода через шлаковую ванну, интенсивное взаимодействие расплава со шлаком, последовательная и направленная кристаллизация расплава при высокой интенсивности охлаждения способствуют удалению из расплава неметаллических включений и растворенных газов, получению плотного однородного металла отливки.

На кристаллическое строение отливки существенное влияние оказывает направление тепловых потоков: основное количество теплоты отводится в осевом направлении. Переносу теплоты в радиальном направлении препятствует тонкая корочка малотеплопроводного шлака между отливкой и кристаллизатором. Основное количество теплоты подводится в верхнюю часть отливки расплавленным и перегретым электродом металлом, а высокий перегрев шлаковой ванны создает градиент температур в осевом направлении. В результате расплав кристаллизуется в осевом или радиально-осевом направлениях. Это способствует формированию в отливке столбчатых кристаллов, а благодаря осевой или радиально-осевой их направленности, непрерывному питанию растущих кристаллов; в отливке исключаются усадочные дефекты, трещины, ликвационная неоднородность.

Химический состав металла в отливке по основным элементам практически не изменяется, но содержание кислорода и азота снижается в 1,5...2 раза, понижается концентрация серы и уменьшается в 2...3 раза загрязненность металла неметаллическими включениями. При этом неметаллические включения становятся мельче и равномерно распределяются в отливке. Особенности формирования отливки оказывают положитель-

ное влияние на механические свойства металла: улучшается микроструктура отливки, резко возрастают пластические свойства. Поэтому механические свойства отливок ЭШЛ выше, чем у поковок и проката из металла одинакового химического состава.

Поскольку отливка выплавляется в металлической форме, покрытой изнутри тонким слоем шлака, качество поверхности отливки получается высоким, отливка не требует очистки, а во многих случаях и обработки резанием.

Таким образом, при ЭШЛ отпадает необходимость в плавильных печах, приготовлении формовочных и стержневых смесей, формовке, литниковых системах и прибылях. Отливки имеют металл и поверхность высокого качества.

Вместе с тем для изготовления отливки требуется достаточно сложная и дорогостоящая литейная форма, специальные заготовки — электроды из проката или предварительно отлитые.

Накопленный производственный опыт показывает, что наиболее выгодно использовать этот процесс для получения отливок из специальных сталей и сплавов и отливок ответственного назначения, к которым предъявляются повышенные требования по качеству металла, механическим свойствам.

Способом ЭШЛ получают полые заготовки цилиндров, трубы круглого и овального сечений, корпуса задвижек запорной и регулирующей арматуры тепловых и атомных электростанций, сосуды сверхвысокого давления, коленчатые валы, шатуны и другие детали крупных судовых двигателей, прокатные валки, бандажи цементных печей, заготовки штамповочного и режущего инструмента и другие детали (рис. 6.18). Область применения ЭШЛ благодаря его преимуществам постоянно расширяется.



Рис. 6.18. Отливка, полученная по технологии ЭШЛ.

Литейные формы — кристаллизаторы для ЭШЛ — обычно изготавливают из меди, их делают тонкостенными, водоохлаждаемыми. Используют кристаллизаторы двух типов: предназначенные для выплавления отливки целиком (см. рис. 6.17) и предназначенные для выплавления только объединяющей части изделия, а остальные части, изготовленные заранее, устанавливают в соответствующие отверстия литейной формы и во время выплавки приплавляют их к объединяющей части изделия (рис. 6.19).

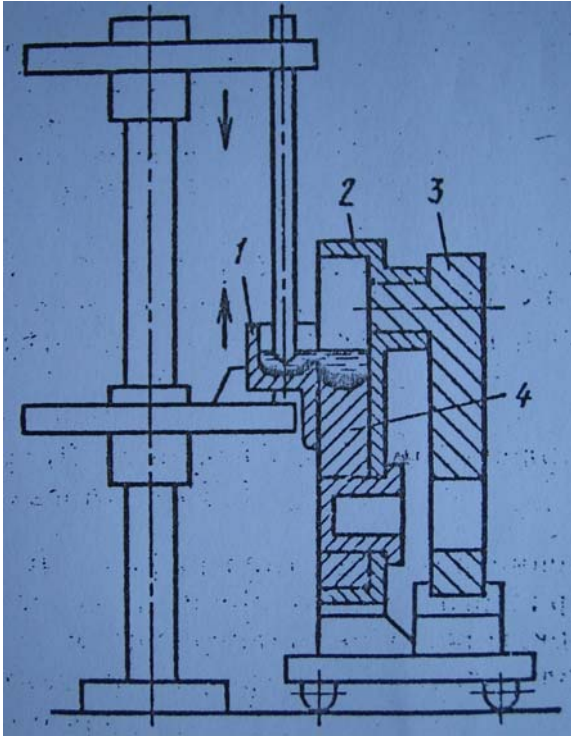


Рис. 6.19. Схемы выплавки кривошипа коленчатого вала судового дизеля способом ЭШЛ.

1 — плавильный карман, 2 — кристаллизатор, 3 — ранее выплавляемая часть изделия, 4 — выплавляемая часть изделия.

Для выплавки фасонных отливок сложной формы используют кристаллизаторы, имеющие вертикальный и горизонтальный разъемы. Разъемные литейные формы бывают двух типов: с разборкой после окончания выплавки отливки и с подвижными частями для уменьшения напряжений в отливке, возникающих при ее усадке (рис. 6.19). Литейные формы с подвижными частями для ЭШЛ с переливом состоят из неподвижной - формообразующей и подвижной - плавильной - частей (рис. 6.20). Формы рассмотренных типов позволяют использовать для ЭШЛ универсальные установки.

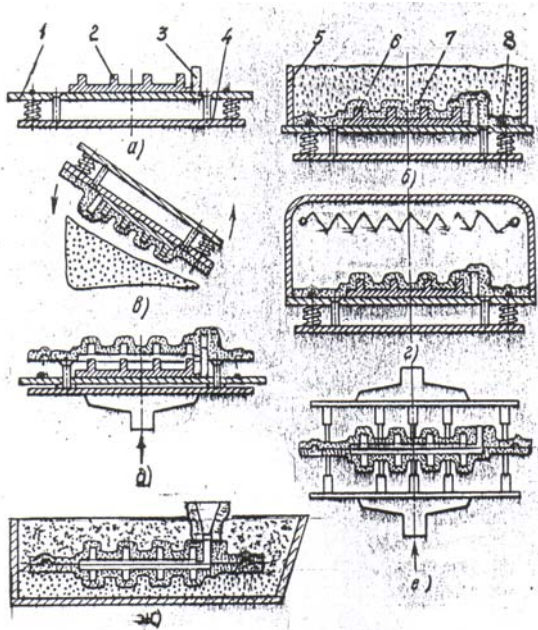


Рис. 6.20.

Материал отливок.

Основными материалами для выплавки отливок являются расходуемые электроды, флюс, различные лигатуры и раскислители.

Расходуемые электроды изготавливают различными способами: отливкой в изложницы, центробежным, непрерывным литьем; могут быть использованы электроды из металлургического проката. Электроды должны быть предварительно очищены от масла, загрязнений, окалины.

Флюсы в процессе ЭШЛ служат источником теплоты и основным средством для регулирования химического состава переплавляемого металла. Температура плавления флюса должна быть несколько ниже температуры плавления металла отливки. Флюс должен быть химически активным к вредным примесям в переплавляемом металле, например в стали - к сере, водороду, азоту. Флюс в расплавленном состоянии должен обладать низкой вязкостью для получения отливки с чистой поверхностью.

Для ЭШЛ используют различные флюсы, как правило, фтористоокисных систем. Например, самый простой флюс АНФ-1П содержит 100 мас. % CaF_2 . Хорошими защитными свойствами, снижающими содержание водорода в металле отливки, обладает флюс АНФ-6, состоящий из 70 мас. % CaF_2 и 30 % Al_2O_3 . Перед началом процесса флюс предварительно расплавляют в графитовом тигле графитовым электродом для очистки его от влаги, кремнезема, окислов железа и других вредных примесей, а затем в жидком виде заливают в кристаллизатор.

Технологические режимы плавки зависят от размеров изделия, свойств переплавляемого металла, состава шлака. Важнейшим параметром процесса является количество теплоты, выделяющейся при прохождении тока через шлаковую ванну. Оно зависит от электрических параметров процесса (силы тока) и электрического сопротивления шлаковой ванны.

При нормальном ходе процесса (режим сопротивления) оплавленный конец расходуемого электрода имеет конфигурацию конуса с основанием диаметром, равным диаметру электрода. Если уменьшить скорость подачи электрода в ванну, процесс плавления электрода перейдет в электродуговой режим. Это приведет к неустойчивому режиму плавления, окислению и насыщению конца электрода газами, ухудшению качества металла отливки. Если расходуемый электрод будет слишком глубоко погружен в шлаковую ванну (большая скорость его опускания), то процесс перейдет в дуговой — возможно короткое замыкание вследствие вымораживания конца электрода в ванну. В этом случае длительность контакта металлических капель со шлаком уменьшается и рафинирование металла ухудшается.

Технико-экономическая эффективность ЭШЛ определяется его преимуществами: большим количеством литого металла, снижением трудоемкости, высоким выходом годного, возможностью автоматизации технологических операций и управления качеством отливки. Следует отметить, что способ ЭШЛ позволяет не только изготавливать сложные отливки высокого качества, но и по-новому решать технологические процессы производства уникальных конструкций, создавать принципиально новые технологические процессы.

Экономическая эффективность ЭШЛ достигается благодаря уменьшению расхода металла на изделие, объема обработки резанием и исключения трудоемких операцийковки, гибки и сварки. Например, расходный коэффициент металла при изготовлении валков холодной прокатки способом ЭШЛ составляет 1,5, а из поковок - 2,25. Особенно эффективно ЭШЛ при изготовлении изделий из дорогостоящих инструментальных сталей и использовании изношенных инструментов для расходуемых электродов. При изготовлении деталей судовых дизелей выход годного металла возрастает в 3...4

раза; трудоемкость изготовления сосудов высокого давления снижается в 1,5...2 раза благодаря устранениюковки, штамповки, сварки.

Таким образом, *способ ЭШЛ — малооперационный, трудо- и материалосберегающий, перспективный технологический процесс, обеспечивающий высокую культуру производства и улучшающий условия труда.*

6.8. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ.

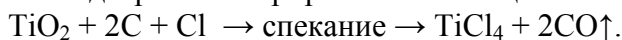
Титан – химический элемент, металл, плотностью $\rho = 4500 \text{ кг/м}^3$, был открыт в 1870 году. Температура плавления $T_{\text{пл.}}=1668 \text{ }^\circ\text{C}$. Допустимые напряжения растяжения титана в ~6 раз больше, чем напряжения растяжения алюминия. Титан химически стойкий во влажном воздухе, морской воде, в азотной HNO_3 и соляной кислотах HCl . Такая стойкость обусловлена образованием прочной оксидной пленки TiO_2 , защищающей металл от дальнейшего окисления и взаимодействия с активными веществами. Наиболее рациональная температурная область использования титановых сплавов 250...550 $^\circ\text{C}$. Это температуры при которых алюминиевые и магниевые сплавы не используются по причине их низкой термопрочности, а стали уступают по удельной прочности.

Титан обладает теплопроводностью в 5 раз, а электропроводностью в 15 раз ниже стали, обладает повышенной теплостойкостью. Содержание титана в земной коре ~0,6%.

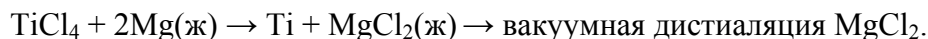
Структура титана до $T=882 \text{ }^\circ\text{C}$ – гексагональная (αTi), после $T=882 \text{ }^\circ\text{C}$ – объемноцентрированная кубическая решетка (βTi).

Производство титана.

Исходным сырьем для получения титана являются титано-магнетитовые руды. На первых этапах этого процесса получают титановый шлак, содержащий 80...90% TiO_2 . Затем шлак подвергают хлорированию в специальных печах



Титан из четыреххлористого титана восстанавливают в реакторах при температуре 950...1000 $^\circ\text{C}$



В связи с возрастающей потребностью промышленности производство титана постоянно увеличивалось (если в 1947 г. его было произведено ~2 т, то в настоящее время на изготовление только одного корпуса авиалайнера расходуется несколько тонн сплавов этого металла).

Область использования отливок из титановых сплавов.

Благодаря высоким прочностным характеристикам титановых сплавов (сплав ВТ14Л имеет $\sigma_{\text{в}}=900 \text{ МПа}$, а сплав ВТ1Л $\delta=10\%$) и невысокой плотности (высокой удельной прочности) они нашли, прежде всего, широкое применение в авиации, судостроении и ракетостроении, а высокая химическая стойкость привела к их применению в атомной технике, химическом машиностроении, медицинском оборудовании. Отливки из титановых сплавов являются заготовками деталей авиационных и ракетных двигателей, лопаток и компрессорных колес, деталей насосов, для перекачки агрессивных жидкостей и других, в том числе сложных корпусных отливок. К недостаткам титановых сплавов можно отнести их затрудненную обрабатываемость резанием и высокую стоимость, которая значительно выше стоимости алюминиевых, магниевых и медных сплавов.

Особенности технологического процесса.

Возможность изготовления сложных, с высокими эксплуатационными свойствами отливок из титановых сплавов обеспечивается их высокими литейными свойствами. Так жидкотекучесть у них выше, чем у многих сталей благодаря меньшей теплопровод-

ности, они имеют невысокую склонность к образованию горячих трещин, так как имеют небольшой интервал кристаллизации.

Вместе с тем, титановые сплавы обладают высокой химической активностью в расплавленном состоянии. Этим обусловлены высокие требования к химической стойкости форм, требует вакуумной плавки и заливки форм. При получении отливок со сложным микрорельефом поверхности, для преодоления сил поверхностного натяжения используют центробежную заливку форм.

Применяют формы из графита, кокили, формы из высокоогнеупорных материалов, полученные по технологии литья по выплавляемым моделям с использованием графита.

Стойкость форм: блочных графитовых 2...15 заливок, сборных графитовых 40...50, кокилей до 100 заливок. Заливка их, как правило, происходит в специальных вакуумных установках, позволяющих произвести плавку металла и заливку сложных форм в поле центробежных сил.

При изготовлении форм для отливок из титана по технологии литья по выплавляемым моделям в качестве огнеупорной основы форм применяют окислы ZrO_2 , Al_2O_3 , тугоплавкие и обладающие высокой термохимической устойчивостью. Связующим служит ЭТС 40 или оксинитрат алюминия $Al_3(OH)_8NO_3$. Однако применение этих материалов не исключает образования на поверхности отливок очень твердого слоя, содержащего α -фазу титана, затрудняющую обработку резанием. Для предотвращения образования этого слоя оболочковую форму, изготовленную по обычной технологии выплавляемых моделей из материалов, указанных выше, покрывают пленкой пироуглерода по способу, разработанному проф. В. М. Александровым. Для этого форму помещают в реактор и нагревают до температуры 900...1000 °С. В реактор подают углеводородные газы, чаще всего пропан. При высоких температурах пропан диссоциирует с образованием углерода, который в виде прочной пленки пироуглерода осаждается на поверхности формы и в ее порах. Присутствие пироуглерода на поверхности формы предотвращает образование альфирированного слоя на поверхности отливок из титана и его сплавов.

В России освоена технология литья под давлением отливок из титановых сплавов.

6.9. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (ГТД)

Улучшение летно-технических характеристик современных авиалайнеров и вертолетов требует увеличения мощности двигателей. Повышение температуры газа перед турбиной приводит к существенному повышению экономичности, резкому росту удельной мощности, сокращению удельного веса и габаритов ГТД, значительно увеличивает тягу.

Температура газа перед турбиной может быть повышена в результате применения:

- новых жаропрочных материалов;
- монокристаллической структуры материала отливки;
- улучшенных систем охлаждения турбинных лопаток.

Начиная с 1958 г., использование более жаропрочных, чем использовавшихся ранее сплавов, позволило поднять температуру газа до 1000...1100 °С.

Изготовление лопаток с направленной и монокристаллической структурой повысило их жаропрочность в 2..4 раза по сравнению с лопатками, имеющими равноосную структуру. В сочетании с использованием современных систем охлаждения лопаток это позволило поднять температуру газа перед турбиной до 1300 °С.

Охлаждаемые лопатки ГТД, работающие при высоких температурах и нагрузках, в условиях интенсивного коррозионного и эрозионного износа могут быть изготовлены не только литьем, но и штамповкой в сочетании со сваркой. Преимущество во всем мире имеет процесс ЛВМ. Литые лопатки дешевле штампованных на ~30%. Литейная технология позволяет: сократить расход металла на 18...20 %; снизить трудоемкость на ~40 %; снизить себестоимость на 20...35 %; повысить механические свойства на 30...40%.

Припуск на обработку практически не назначают, т.к. обработка резанием жаропрочных сплавов не только повышает себестоимость лопаток, но и ухудшает их эксплуатационные свойства. При механической обработке на поверхности лопаток появляются субмикротрещины, приводящие к их преждевременному разрушению.

Толщина стенок пера сложных пустотелых лопаток от 0,8 до 3,5 мм. Внутренние полости, оформляемые стержнем, имеют весьма сложную конфигурацию. Толщина такого стержня может быть менее 1 мм.

Материалы и технология изготовления отливок

Модельные составы: МВС-3А, ПС, ВИАМ-102, МПВС-2, МВ и др.

Форма. Главная часть литейной формы – оболочка, служащая непосредственно для формообразования наружного профиля лопатки (отливки).

Точность и стабильность размеров отливки лопаток во многом зависит от качества исходных материалов. При деформации оболочки (при обжиге, например) будет деформироваться и стержень. Для пустотелых лопаток в качестве наполнителя форм используют огнеупорные материалы: электрокорунд, плавленный кварц, циркон, двуокись титана.

Технология изготовления форм и стержней.

При изготовлении оболочковой формы для приготовления огнеупорной суспензии в качестве огнеупорного материала применяют корундо-силлиманит и гидрализованый раствор ЭТС– 40. В качестве обсыпочногo материала для первого слоя применяют электрокорунд со средним размером зерен 0,16, а для последующих слоев свыше 0,28 мм. Количество слоев – до 9...12.

Для изготовления стержней возможно использование нескольких технологических процессов: Шоу-процесса; спекание; горячие ящики (связующее - кремнийорганическая смола К101); спекание в сочетании с использованием аминных катализаторов. Температура спекания стержней обычно составляет 1100...1200 °С.

Истинно оболочковая форма.

Для обеспечения возможности использования истинно оболочковой формы (см. главу 1), она должна обладать достаточной прочностью. С этой целью, после нанесения последнего слоя оболочку закрепляют окунанием в суспензию без присыпки электрокорундом. Для предотвращения образования трещин после шестого слоя обычно наносят растворяющиеся или выгорающие добавки (2 слоя). Покаленные оболочки заливают при температуре 1000...1520 °С. Суммарное время прокаливания формы от 3 до 25...30 час.

Основные этапы разработки и организации технологического процесса изготовления лопаток ГТД с полостями:

1. Разработка структуры процесса.
2. Конструирование оснастки (пресс-формы для стержня, пресс-формы для модели отливки, пресс-формы для драйверов стержней).
3. Изготовление стержня.
4. Изготовление выплавляемой модели.
5. Пайка блока.
6. Изготовление оболочки (в т.ч. с легирующими добавками).
7. Выплавление.

8. Прокаливание и заливка формы.
9. Гидроочистка, выщелачивание стержня.
10. Отрезка литников (абразивная, анодно-механическая, плазменная).
11. Контроль (внешний, с помощью рентгенотелевизионного микроскопа, цветная дефектоскопия, проверка геометрии, размеров, в том числе, по сечениям пера лопатки).
12. Обработка: шлифование пера, механическая обработка замка.

6.10. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ ОТЛИВОК ХУДОЖЕСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Кроме традиционного, разработан и применяется, при изготовлении отливок художественного назначения, способ литья по выплавляемым моделям, в котором вместо многослойной керамической, форма изготавливается в виде цельного блока.

Следует заметить, что основными требованиями к отливкам художественного назначения являются высокая чистота поверхности отливки, отсутствие пористости, точность воспроизведения рельефа поверхности. Данный вариант технологии, в сочетании с принудительным заполнением форм металлом, наиболее полно удовлетворяет перечисленным требованиям к качеству отливок. Рассмотрим подробнее эту технологию.

Сущность процесса

Начальным этапом является изготовление оригинала изделия. Это задача скульптора, автора такого изделия. Оригинал имеет техническое название “мастер-модель”, иногда “промодель” или “прима”. Мастер-модель может изготавливаться из пластилина, гипса, твердых восков, легкообрабатываемых металлов. Для изготовления пресс-формы применяют синтетические материалы – виксинты или силиконовые герметики. В исходном состоянии виксинит – жидкий. В него для отверждения вводят до 1% кислотного катализатора, перемешивают, готовую смесь наносят на поверхность мастер-модели. Через 2...3 часа смесь твердеет, при этом остается эластичной. Для снятия виксинитовой пресс-формы, например, с небольшой скульптуры, последнюю помещают в металлическую рамку и заливают герметик. Готовую пресс-форму сложной детали разрезают на части, освобождают мастер-модель. Устанавливают в нужном порядке части пресс-формы обратно в рамку.

Основные этапы технологического процесса

По металлическим мастер-моделям можно изготавливать пресс-формы из сырой резины с последующей тепловой вулканизацией.

В качестве материала пресс-форм используют различные марки синтетического каучука. Для предотвращения коррозии оригинала на него наносят гальваническим способом никелевое покрытие. При изготовлении резиновых пресс-форм используют металлические вулканизационные рамы (обоймы), круглые или прямоугольные, из алюминиевых сплавов. Заготовки сырой резины в виде нарезанных кусочков помещают в обойму, на этот слой укладывают мастер-модель, заполняют резиной обойму, поверх модели. Собранный обойму помещают в вулканизационный пресс и нагревают при 150..160 °С в течение 30...45 мин. Готовую резиновую пресс-форму разрезают зигзагообразно, для взаимной фиксации частей, освобождают мастер-модель и собирают пресс-форму.

Выплавляемые модели изготавливают свободной заливкой расплавленного модельного состава, чаще – запрессовкой модельного состава в пастообразном состоянии. Для этого применяют установки –инжекторы, в которых происходит расплавление модельного состава, охлаждение до пастообразного состояния, запрессовка модельного состава сжатым воздухом. После охлаждения модели пресс-форму разбирают. При необходимости модель очищают от облоя.

В модельные составы входят обычно следующие компоненты: парафин, шеллачный воск, синтетический церезин, сополимеры этилена с винилацетатом. Температура плавления в пределах 55...75 °С.

Малые модели собирают пайкой в блок совместно с элементами литниковой системы. К средним и крупным моделям, которые будут заливаться индивидуально, припаивают восковые элементы литниково-питающих систем. Количество литников должно обеспечивать качественное заполнение формы металлом.

Для изготовления художественных отливок из сплавов меди с принудительной заливкой применяют формы в виде блоков. После перемешивания формовочной смеси с водой смесь подвергают вакуумированию, смесь заливают в опоку, куда заранее установлен блок моделей. Опоку устанавливают в вибровacuумную установку и подвергают обработке 5...10 мин для наиболее полного удаления из смеси пузырей воздуха.

После формовки и отвердевания смеси форму выдерживают на воздухе 1...3 часа.

В состав формовочных смесей входит гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$), который твердеет и придает прочность смеси при замешивании с водой, а также различные огнеупоры на кварцевой основе. Наиболее распространена гипсодинасовая формовочная смесь, в которой огнеупорным компонентом служит динас, измельченный до размеров зерен 0,08 мм и содержит до 96% SiO_2 .

Для выплавления из формы модельного состава применяют электрические печи с температурой нагрева до 150 °С. Форму помещают в нагретую печь литниковой воронкой вниз. Расплавленный модельный состав вытекает в расположенную внизу емкость, полость формы освобождается. Часть модельного состава впитывается в форму. При прокаливании формы нагревом до 700 °С модельный состав должен полностью выгорать. Нагрев форм при прокаливании проводят под управлением программного устройства “ПРОТЕРМ” по специальному режиму. Плавку сплавов проводят преимущественно в печах с электрическим нагревом с использованием графитовых, керамических или кварцевых тиглей. Заливка форм проводится с помощью прогретых ковшей или в установках с центробежной заливкой форм. При такой заливке на металл создается внешнее давление, что позволяет изготовить тонкостенные отливки за счет увеличения скорости течения металла по каналам формы.

Охлажденные формы помещают для разупрочнения в воду. После этого блок отливок поступает на участок отрезки литников и контроля качества отливок.

Оставшиеся операции изготовления отливок – отделка поверхности с помощью галтовки, шлифовки, термообработки, травления, нанесения защитных или декоративных покрытий.

После всего этого приятно посмотреть на готовое изделие.