

УДК 621.74.045

## ДЕФЕКТЫ МОДЕЛЕЙ ПРИ ЛВМ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Камила Касимовна Халикова

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.А. Рыбкин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Литейные технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Сущность литья по выплавляемым моделям (далее ЛВМ) заключается в применении разовых, точных, неразъемных, керамических оболочковых форм, получаемых по разовым моделям с использованием жидких формовочных смесей. Перед заливкой модель удаляют из формы выплавлением, выжиганием, растворением или испарением [1]. Качество получаемых отливок зависит от многих факторов: от сложности отливки, от качества формы, компонентов из которых создана эта форма, от качества связующего, от способа заливки (заливка открытым способом требует нанесения дополнительных укрепляющих слоев формы, существует риск «треска» формы при заливке, заливка с слоем огнеупорного материала в опоке требует соответствующего качества материалов), от выбранной литниково-питающей системы, от моделей, от пресс-формы (формы для изготовления выплавляемых моделей), которые должны соответствовать определенным требованиям.

В данной работе рассматривается влияние качества выплавляемых моделей на качество получаемой отливки.

Дефекты выплавляемых моделей можно подразделить на устранимые и неустранимые. Неустранимые дефекты возникают в результате преждевременного извлечения модели из пресс-формы, запираения в полости пресс-формы пузырьков воздуха большого объема, из-за сложности пресс-формы, несовершенства модельного состава (недостаточной прочности) и других причин. Устранимые дефекты удаляют при подготовке модели к припаиванию или приклеиванию к питателям и/или литниково-питающей системе.

Устранимые дефекты, возникающие в выплавляемых моделях можно разделить на группы в зависимости от причин, которыми они вызваны:

1. Дефекты, возникающие из-за неподходящего состава и качества модельной массы для изготовления выплавляемых моделей
2. Дефекты, возникающие из-за оборудования для приготовления модельной массы и для запрессовки/заливки в пресс-формы
3. Дефекты, возникающие из-за недостаточной точности, несоответствия требованиям пресс-форм
4. Дефекты, возникающие из-за неправильного подвода модельной массы в пресс-форму
5. Дефекты, возникающие из-за несоблюдения технологического режима (время выдержки перед нанесением первого слоя суспензии, повышенный нагрев модельной массы, перегрев шприца или пресс-формы)
6. Дефекты литейного характера (недоливы, неспаи)

7. Дефекты, возникающие из-за «человеческого фактора» (недостаточная очистка полости пресс-формы перед заполнением, при наличии дополнительных элементов пресс-форм отсутствие их на момент заполнения пресс-формы и т.д.).

Рассмотрим каждую группу отдельно.

*1. Дефекты, возникающие из-за неподходящего состава и качества модельной массы для изготовления выплавляемых моделей.*

Выбор модельного состава должен основываться на требованиях к качеству моделей, на условиях окружающей среды (при повышенных температурах необходимо выбирать более теплоустойчивые модельные составы), на возможности обслуживания и простоте дальнейшей обработки моделей.

Если при перемешивании возвратного модельного состава и новых компонентов отсутствует фильтрация компонентов, в смесь могут попасть инородные элементы, образуя засоры в моделях.

Если модельный состав недостаточно теплоустойчив или в помещении, где хранятся модели не поддерживается необходимый температурный режим, при наличии с модели воздуха, который неизбежен, если модельный состав запрессовывается в пресс-формы в пастообразном состоянии, на поверхности модели возникают пузырьки воздуха, желающего освободиться (рис. 1), также возможно изменение геометрии модели, что ведет к невозможности устранить возникший дефект.

При повышенном содержании стеарина в составе модельной композиции можно наблюдать «иероглифы», рисунок на поверхности модели (рис. 2), также стеарин плохо смачивается суспензией [2].



Рис. 1. Пузырек воздуха на поверхности модели



Рис. 2. «Иероглифы» на поверхности модели

#### Исходные материалы для приготовления модельных составов:

Парафин — воскоподобное вещество, смесь предельных углеводородов (алканов). Получают главным образом из возгонки нефти, бурого угля или горячих сланцев. вещество белого цвета кристаллического строения с молекулярной массой 300...450, в расплавленном состоянии обладает малой вязкостью. Дешевый и недефицитный материал. Для изготовления моделей применяется очищенный технический.

Стеарин – (фр. *stearine*), от греч. *stear* — жир) — органический продукт, получаемый из жиров а именно смесь твердых жирных кислот. Состоит из стеариновой кислоты с примесью пальмитиновой, олеиновой и других насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. Недостаток стеарина склонность взаимодействия к гидролизным растворам этилсиликата и его дефицитность.

Жирные кислоты — алифатические одноосновные карбоновые кислоты с открытой цепью, содержащиеся в этерифицированной форме в жирах, маслах и восках растительного и животного происхождения. Жирные кислоты, обладают свойствами схожими со стеарином, но более хрупки. Обычно применяются взамен стеарина

Буроугольный воск – состоит из воска, смолы, асфальтоподобных веществ. Последнее не рекомендуются для модельных составов. Применяется для увеличения прочности моделей. Недостаток - повышенная вязкость.

Церезин — смесь предельных углеводородов с числом атомов углерода в молекуле от 36 до 55. Церезин имеет более высокую пластичность и температуру размягчения, чем все вышеприведенные материалы. Недостатки церезина: значительная линейная усадка, не высокие прочность и твердость.

Этилцеллюлоза – один из простых эфиров целлюлозы, белый или светло-желтый кристаллический порошок. Температура плавления 160...180 °С. Хорошо смешивается с жидким стеарином и церезином. Обладает высокой теплостойкостью и прочностью. Недостаток - увеличенная в сравнение с другими материалами усадка.

Канифоль – Канифоль (греч. *πίσσα Κολοφώνια*, лат. *colophonia resina*) — колофонская смола — хрупкое, стекловидное, аморфное вещество от темно-красного до светло-жёлтого цвета. Входит в состав смол хвойных деревьев и получается из живицы (смолистого вещества (терпентин), выделяющегося при ранении деревьев хвойных пород). Канифоль растворима в органических растворителях (спирте, ацетоне, эфире, бензоле, хлороформе), нерастворима в воде.

Полистирол – продукт полимеризации стирола (винилбензола) относится к полимерам класса термопластов. Полистирол имеет низкую плотность (1060 кг/м<sup>3</sup>), термическую стойкость (до 105 °С), усадка при литьевой переработке 0,4...0,8 %. Для улучшения свойств полистирола его модифицируют путём смешения с различными полимерами — подвергают сшиванию, таким образом, получая сополимеры стирола.

Рецептура модельных составов приведена в табл. 2 Свойства модельных составов и методы изготовления моделей оказывают значительное влияние на качество отливок.

Табл. 1. Исходные материалы для модельных составов

Наименование	t <sub>плавления</sub> С°	плотность кг\м <sup>3</sup>	линейная усадка %	прочность при растяжении кгс\см <sup>2</sup>
парафин	50...54	0.9...0.95	0.3...0.5	4...5
стеарин	52...56	0.9...0.97	0.7...2.0	4...6
этилцеллюлоза	160...180	1.0...1.2	-	140
церезин	60...100	0.91...0.94	0.6...3.5	-
буроуг. воск	82...90	1.00...1.03	-	-
канифоль	54...67	1.00...1.2	-	-
полистирол	200...280	1.05...1.07	0.2...0.8	380...600
карбамид	130...134	-	-	-
полиэтилен	104...115	0.92...0.95	1...3	100...170

Табл. 2. Рецептатура модельных составов вес указан в %

Наименование	ПС 50-50	ПСЭ 65-25-10	ПЖк 50-50	ПЖкБ 40-40-20	КПсЦ 50-30-20	КоЕк 50-30-20	МАИ 500	РЗ	МВС - 3А
парафин	50	25	50	40	-	-	-	58	60
стеарин	50	65	-	-	-	-	-	-	-
жирные кислоты	-	-	50	40	-	-	-	-	-
этилциллюлоза	-	10	-	-	-	-	-	-	-
церезин	-	-	-	-	20	-	14	25	25
буроугольный воск	-	-	-	20	-	-	-	12	3
канифоль	-	-	-	-	50	-	82	-	-
полистерол	-	-	-	-	30	-	-	-	-
карбонид	-	-	-	-	-	98	-	-	-
борная кислота	-	-	-	-	-	2	-	-	-
полиэтилен	-	-	-	-	-	-	2	-	12
пек	-	-	-	-	-	-	1,7	-	-
торфяной воск	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-
кубовый остаток термического крекига парафина	-	-	-	-	-	-	-	5	-

Модельные составы должны обладать следующими свойствами: низкой температурой плавления, минимальной усадкой при охлаждении и минимальным расширением при нагреве, хорошей жидкотекучестью в расплавленном состоянии, минимальным временем затвердевания в пресс-форме, достаточной прочностью и твердостью, отсутствием химического взаимодействия с материалами пресс-формы и обмазки, хорошей смачиваемостью обмазки, дешевизной, не дефицитностью и др.

За последние годы было опробовано большое количество различных модельных составов и различных вариантов технологического процесса изготовления моделей.

Модельные составы ПС легко готовятся, хорошо смачиваются суспензией на этилсиликате, имеют невысокую температуру плавления, гладкую поверхность, пригодны для многократного использования. Возврат модельного состава ПС равен 90...98%. Недостатки - низкая температура размягчения, значительная усадка, низкие прочность и твердость. Модельные составы типа ПС применяют как в жидком состоянии, так и в виде пасты с замешанным в нее воздухом в количестве 8...10%. При заполнении полости формы под давлением воздух сжимается, а после снятия давления воздух расширяется и уменьшает усадку модели. Но прочность моделей из пасты снижается в 1,3...1,5 раз, а поверхность получается более шероховатой, чем у моделей жидкого состава. Небольшие добавки этилоциллюлозы, полиэтилена, канифоли, буроугольного воска позволяют повысить температуру размягчения, повысить прочность модельных составов из ПС. Стеарин из-за дефицитности заменяется жирными кислотами.

КПсЦ по сравнению с ПС обладает высокой механической прочностью, повышенной твердостью, лучшей теплостойкостью, и мало изменяющимся коэффициентом линейной усадки. Модели из КПсЦ имеют наиболее гладкую поверхность, хорошо смачиваемую суспензией. Недостатки КПсЦ: высокая температура плавления, сложность приготовления, огнеопасность, низкая жидкотекучесть и высокая вязкость. Из-за высокой вязкости КПсЦ плохо выплавляется из керамической формы, и использование возврата модельного состава равно 30...40%. Остальная часть модельного состава выжигается при прокаливании. Из-за низкой

жидкотекучести состав КПсЦ требует повышенного давления запрессовки 8...10 кгс/см<sup>2</sup>.

При выплавке из-за низкой теплопроводности модели из КПсЦ, расширяясь, длительное время действуют на оболочку с растягивающими усилиями. Для повышения прочности оболочки необходимо применять дорогой и трудоемкий способ формовки с жидким наполнителем.

Модельные и стержневые составы на основе карбамида (техническая мочевины) растворимы в воде и применяются для получения отливок высокой точности. Модели из сплавов на основе карбамида обладают повышенной прочностью и теплостойкостью, высокой размерной точностью, имеют твердую и гладкую поверхность. При растворении моделей горячей водой исключается деформация керамической формы. К недостаткам модельного состава относятся: плохая припаяемость, гигроскопичность и неприятный запах. Для уменьшения гигроскопичности к карбамиду добавляют нитрат калия (состав МОНк-10).

Для того, чтобы не допустить дефекты, связанные с неправильно подобранной модельной композицией, необходимо проанализировать требования имеющихся моделей к температуре плавления, теплоустойчивости, зольности, пределу прочности и выбрать модельный состав исходя из этих требований.

## *2. Дефекты, возникающие из-за оборудования для приготовления модельной массы и для запрессовки/заливки в пресс-формы*

Оборудование, используемое при приготовлении пастообразных модельных составов, например, шестеренный смеситель замешивает в пасту от 8 до 12 % воздуха, что является положительным явлением, поскольку наполненность воздухом (рис. 3) снижает усадку, но при длительном хранении пузырьки воздуха под давлением начинают расширяться и выходить на поверхность. При запрессовке пасты в пресс-форму, необходимо установить определенный режим давления в шприце. При повышенном давлении образуется турбулентный поток модельной массы, который захватывает воздух в большем объеме, чем необходимо и образуются крупные полости (рис. 4). Для того, чтобы подобных явлений не происходило необходимо регулировать давление в сети, снизить скорость заполнения пресс-форм следить, чтобы шприц не перегревался.



Рис. 3. Пористая структура модели



Рис. 4. Крупная полость



Рис. 5. Неравномерность распределения и размеров включений воздуха

### *3. Дефекты, возникающие из-за недостаточной точности, несоответствия требованиям пресс-форм*

Требования к пресс-формам. Пресс-форма - это инструмент для изготовления модели. От точности модели зависит точность размеров полости формы и соответственно размеров отливки. Поэтому главное требование к пресс-форме заключается в том, чтобы в ней можно было получить модели отливки с заданной точностью размеров и шероховатостью поверхности.

Точность размеров модели и качество воспроизведения ее конфигурации зависят от точности размеров полости пресс-формы и ее конструкции; чем меньше разъемов имеет пресс-форма, тем выше точность моделей. Поэтому всегда стремятся делать минимальное число разъемов. Однако для получения сложных моделей приходится делать несколько разъемов, чтобы модель можно было извлечь из пресс-формы.

Для хорошего заполнения полости пресс-формы модельным составом она должна иметь соответствующую литниковую систему, а для удаления воздуха из полости пресс-формы при заполнении ее модельным составом - вентиляционную систему.

Конструкция пресс-формы должна быть такой, чтобы модель можно было легко и быстро, без деформаций и повреждений извлечь из рабочей полости пресс-формы.

Большинство модельных составов имеют низкую теплопроводность, а поэтому медленно охлаждаются в пресс-форме. Пресс-форма должна обеспечить достаточную скорость охлаждения. Это достигается устройством в ней системы охлаждения водой или другими теплоносителями. Такие пресс-формы часто используют в массовом производстве, где важно обеспечить высокую производительность оборудования. Для получения по одной пресс-форме достаточного количества качественных моделей она должна обладать необходимой долговечностью. Наконец, пресс-форма должна иметь такую конструкцию, чтобы ее можно было просто и быстро изготовить, а материалы для нее были не дефицитными по конструкции и методам изготовления обычно различают пресс-формы для единичного и мелкосерийного, серийного и массового производства.

Пресс-формы со временем имеют свойство изнашиваться. Необходимо корректировать пресс-формы для того, чтобы модель не меняла необходимую геометрическую форму. Пресс-форма должна иметь определенную температуру, быть смазана и продута от остатков модельной массы.

*4. Дефекты, возникающие из-за неправильного подвода модельной массы в пресс-форму*

При изготовлении крупногабаритных, сложных по форме и разностенных отливок большое влияние на точность и конфигурацию оказывает место модели в пресс – форме и подвод массы к модели. При изготовлении крупногабаритных отливок, имеющих форму тел вращения, необходимо, по возможности, подводить модельный состав в центр модели. Для моделей, имеющих форму втулок, где подвод в центр невозможен, необходимо выполнять подвод в несколько точек (не менее трех) симметрично. Те части деталей, которые должны иметь точные размеры, необходимо располагать в одной половине пресс – форм с тем, чтобы на этих размерах не сказывалось влияние плоскости разъема [3].

*5. Дефекты, возникающие из-за несоблюдения технологического режима (время выдержки перед нанесением первого слоя суспензии, повышенный нагрев модельной массы, перегрев шприца или пресс-формы)*

При повышенном нагреве пасты или шприца возникает местная усадка. Модели имеют свойство усаживаться (изменять свои размеры) в течение некоторого времени после извлечения из пресс – формы, поэтому необходимо выдержать не менее 1 часа перед нанесением суспензии. Переохлаждение пресс – формы, комковатость массы и недостаточное давление на пасту могут являться причиной невыполнения формы моделей.

*6. Дефекты литейного характера (недоливы, неспай)*

Недолив и неспай моделей появляются тогда, когда температура пасты низкая и давление запрессовки недостаточное. Также подобные дефекты наблюдаются тогда, когда запрессовывается недостаточное количество массы, пресс – форма негерметично закрыта, если неправильно осуществлен подвод массы к модели.

Для устранения подобных дефектов необходимо предусмотреть надежные зажимы для герметизации пресс – форм, следить за количеством модельной массы, обеспечить правильный подвод модельной массы. Если эти меры не устраняют недолив и неспай необходимо повысить температуру пасты или увеличить давление в шприце [4].

*7. Дефекты, возникающие из-за «человеческого фактора» (недостаточная очистка полости пресс-формы перед заполнением, при наличии дополнительных элементов пресс-форм отсутствие их на момент заполнения пресс-формы и т.д.)*

Человеческий фактор присутствует везде, где есть человек. Если, например, недостаточно продуть пресс – форму от капелек воды получают дефекты поверхности, изображенные на рис. 6.

В заключение можно сделать вывод, что все дефекты взаимосвязаны. При устранении какой-либо из возможных причин необходимо наблюдать за изменениями параметров остальных возможных причин. Необходимо следить за появлением новинок на рынке модельных составов и оборудования для их приготовления и запрессовки, и, основываясь на техническом прогрессе, модернизировать имеющееся оборудование или приобретать новое.



Рис. 6. Дефекты поверхности

#### Литература

1. Гини Э.Ч., Зарубин А.М., Рыбкин В.А. Специальные технологии литья. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. -367 с.
2. Лунев А.А. Точное литье в серийном производстве. // Труды конференции. - 1955, с. 25-29.
3. Лакедемонский А.В. Дефекты отливок и меры их предупреждения. – М.: Машгиз, 1962.
4. Курчман Б.С. Точное литье по выплавляемым моделям. – М.: Оборонгиз, 1958.
5. Книпп Эрвин. Пороки отливок.// Перевод с немецкого. – М.: Машгиз, - 1958.
6. Репях С.И. Влияние параметров производства на размерную точность выплавляемых моделей отливок. //Литейное производство. - 2009. - №7. - С.34-36
7. Репях С.И. О механизме образования утяжин в выплавляемых моделях // Литейное производство. - 2009. - №5. - С. 37-40.