

УДК 621.74.045

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ КАФЕДРЫ ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Коека Дарья Дмитриевна⁽¹⁾, Халикова Камила Касимовна⁽²⁾

*Студент 5 курса⁽¹⁾, студент 4 курса⁽²⁾,
кафедра «Литейные технологии»,*

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: Рыбкин В.А.,

доктор технических наук, профессор кафедры «Литейная технология»

За годы развития литья по выплавляемым моделям в промышленности были опробованы сотни модельных составов, многие из которых широко используются в производстве, а некоторые централизованно поставляются. Более 30 лет помимо выплавляемых используют растворимые и выжигаемые модельные материалы. В целях придания моделям необходимых свойств, их изготавливают обычно из составов, образованных несколькими компонентами, каждый из которых выполняет определенную роль (основы, упрочнителя, пластификатора, наполнителя и т. д.). Так как применяемые модельные составы не отвечают полностью все возрастающим требованиям производства, работа по изысканию новых составов и материалов для их приготовления продолжается.

Модельные составы могут быть классифицированы по ряду признаков, например, в зависимости от природы и количественного соотношения образующих их компонентов, свойств, методов изготовления моделей, способа удаления последних из форм. Наиболее существенным является первый классификационный признак, так как природа и соотношение компонентов модельного состава определяют его физико-механические, химические и технологические свойства, следовательно и рациональные методы использования.

Одним из способов повышения точности размеров моделей является в создании новых модельных составов или усовершенствование имеющихся.

Большинство моделей изготавливается из легкоплавких модельных составов типа ПС (на основе парафина и стеарина). К недостаткам таких модельных составов относятся низкая прочность, твердость, значительная усадка. Для получения точных размеров моделей можно использовать модельные составы типа КПсЦ (Канифольно-полистироловый модельный состав с добавкой церезина). Такие модельные составы обладают повышенной твердостью, механической прочностью, мало изменяющимся коэффициентом линейной усадки, но они сложны в приготовлении, огнеопасны, имеют низкую жидкотекучесть, высокую температуру плавления и высокую вязкость.

Поэтому возникла необходимость получения новых модельных составов, обладающих положительными качествами модельных составов типа ПС и КПсЦ, исключая минусы.

Существует множество модельных составов с улучшенными свойствами и множество способов конструктивного улучшения модельных составов. Например, канадский инженер Josef Valenta предложил способ, основанный на использовании двухслойных моделей: наружная оболочка модели выполнена из компактного состава, а сердцевина – из вспененного полиуретана, полистирола или полиэтилена. Расплавленный модельный состав запрессовывается в пресс-форму, выдерживается в ней до образования оболочки примерно 6 мм толщиной на ее стенках. После остаток расплава удаляют выливанием, а в полость вводят наполнитель, который может вводиться вместе с катализатором, вызывающим вспенивание и соответствующее давление на стенку оболочки, что обеспечивает плотное соединение наполнителя с оболочкой. Такой способ обеспечивает повышение точности размеров крупногабаритных толстостенных моделей, снижение их массы и стоимости материалов.

Аналогичный способ был предложен в работе французских ученых, суть способа заключается в изготовлении двух пресс форм, полость первой точно соответствуют конфигурации отливки, размеры полости второй уменьшены по сравнению с размером отливки на 5-15 мм в зависимости от толщины последней, причем конфигурация полости может не совсем точно соответствовать геометрии отливки. Изготовленную во второй пресс-форме отливку помещают в первую, на поверхность полости которой нанесен разделительный слой. Между моделью и полость пресс-формы заливают смесь на основе полиуретана или эпоксидных смол. Поверхностный слой, образованный вспенивающейся смесью, обладает высокой стабильностью размеров, отсутствием усадки, малым расширением при нагреве и охлаждении.

Основными недостатками такого способа являются: длительность процесса изготовления модели, сложность и высокая стоимость оснастки, применение для изготовления модели разнородных материалов, различных по своему химическому составу и физическим свойствам, что не позволяет производить регенерация композиции полностью.

Известен способ изготовления моделей прессованием. Модели изготавливают из твердых модельных составов.

В Японии запатентован способ изготовления выплавляемых моделей из неорганического материала – нафталина, Р-дихлорбензола, которые расплавляют и заливают в пресс-форму. Основным недостатком этого способа является то, что полученные модели нельзя долго хранить, так как нафталин сублимирует, это приводит к изменению геометрической и размерной точности, а также вредит здоровью человека.

Наиболее простым в осуществлении является применение модельных составов с замешанным воздухом, который можно рассматривать как газонаполненный материал, напоминающий по своей структуре хорошо известные в природе пористые материалы. Широкое применение на практике естественных материалов послужило отправным пунктом в создании искусственных пористых материалов со свойствами, удовлетворяющими требованиям современного производства.

Хорошие результаты по точности размеров отливок, получаемых при использовании выжигаемых (пенополистироловых) моделей, но опасность загрязнения окружающей среды и негативное воздействие на здоровье человека, тормозят широкое внедрение в производство данного способа.

Известно, что для снижения усадки материалов применяют различные наполнители, например модельные составы группы 7 по классификации В. А. Озерова. Это составы с твердыми наполнителями. Основа их — преимущественно составы группы I (воскообразные выплавляемые составы), в которые вводятся порошки, например, синтетических смол или тугоплавких восков: плотность их близка к плотности расплава основы. Такие порошки образуют твердую взвесь в расплавах основы состава, снижая и стабилизируя усадку, следовательно, повышая точность моделей, а также увеличивая их прочность и формоустойчивость. Введение в расплав воскообразного модельного состава 10—15 % порошка синтетической смолы снижает свободную линейную усадку этого состава при затвердевании с 1,5—2 до 0,5 %. Приготовление составов с твердыми наполнителями может быть рассмотрено на примере состава РМ, основой которого служит Р-3, твердым наполнителем — порошок карбамида, а добавкой, стабилизирующей суспензию, состоящую из расплава воскообразного материала и твердых частиц мочевины, является канифоль. Вначале в бачке-термостате с глицериновой баней расплавляют состав Р-3, взятый в количестве 55—56 % общей массыготавливаемого состава. В нагретый до температуры не более 110°C расплав замешивают измельченную канифоль (4-5 % общей массы состава до полного расплавления и смешивания ее с материалом основы. Карбамид

предварительно измельчают в шаровой мельнице, просеивают через сито с ячейками не крупнее № 020 и высушивают в печи-термостате при 100—110 °С, после чего постепенно, при непрерывном перемешивании, вводят в расплав Р-3 и канифоли. В приведенном рецепте количество карбамида составляет 40 % всей массы приготавливаемого состава, однако оно может быть увеличено до 60 % путем сокращения количества Р-3. [2]

Газонаполненные полимеры могут рассматриваться как наполненные полимерные композиции, где в качестве наполнителя используется воздух или другой газ. Это обстоятельство относится в полной мере и к модельному составу с замешанным в него воздухом. Тем более что в отличие от твердых и жидких наполнителей, воздух является компенсатором усадки, активно действующим во всем объеме модели. В этой связи был предложен способ изготовления выплавляемых моделей с повышенным содержанием воздуха и устройство для его осуществления. [1]

В предварительных исследованиях, как указано в источнике [1] были опробованы известные способы наполнения материалов газовой фазой. Это барботаж, химическое вспенивание, механическое диспергирование.

Барботаж и химическое вспенивание не позволило получить однородную структуру модельного материала в процессе его подготовки. Наряду с мелкими воздушными пузырьками 15-20 мкм в модели содержались хаотично расположенные крупные воздушные включения 1,5 -5 мм.

Наиболее простым и доступным оказалось механическое диспергирование, позволяющее при невысоких энергозатратах получать качественно новую структуру модельного материала.

Механическое диспергирование воздушной фазы в объеме модельного состава осуществляли на этапе его подготовки. Исследование показало, что различные модельные составы (ПС 50-50, Р-3, МВС -3А) требуют вполне определенных режимов замешивания воздуха.

Опробование в лабораторных условиях разработанного способа изготовления моделей с повышенным содержанием воздуха в высокодиспергированном состоянии показало возможность изготовления моделей с более высокой точностью размеров, чем по существующей технологии.

Существенным фактором, обеспечивающим возможность использования модельных материалов на легкоплавкой основе в условиях субтропиков, является температура их теплоустойчивости. Естественно, значение этого параметра должно быть существенно выше, чем для условий средних широт. Поэтому возникает задача разработки модельных составов с повышенной теплоустойчивостью. Один из наиболее приемлемых способов – введение в модельный состав тугоплавкой фракции в определенном количестве. Можно сформулировать требования к свойствам этого материала :

- отсутствие дополнительных операций технологического цикла,
- полное удаление модельного состава из формы при прокаливании,
- нетоксичность, недефицитность, невысокая стоимость.

Для этих целей целесообразно применить мелкозернистый графит зерновой, либо в виде волокон. В итоге можно получить структуру, аналогичную композиционным материалам (композиты).

Композиты — многокомпонентные, искусственно созданные неоднородные сплошные материалы, состоящие из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними, а именно из полимерной, металлической, углеродной, керамической или другой основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др. Путем подбора состава и свойств наполнителя и матрицы (связующего), их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и

технологических свойств. Использование в одном материале нескольких матриц (полиматричные композиционные материалы) или наполнителей разл. природы (гибридные композиционные материалы) значительно расширяет возможности регулирования свойств композиционных материалов. Армирующие наполнители воспринимают основную долю нагрузки композиционных материалов.

По структуре наполнителя композиционные материалы подразделяют на: волокнистые (армированы волокнами и нитевидными кристаллами), слоистые (армированы пленками, пластинками, слоистыми наполнителями), дисперсноармированные, или дисперсноупрочненные (с наполнителем в виде тонкодисперсных частиц). Матрица в композиционных материалах обеспечивает монолитность материала, передачу и распределение напряжения в наполнителе, определяет тепло-, влажно-, огне- и химическую стойкость.

По природе матричного материала различают: полимерные, металлические, углеродные, керамические и другие композиты. Наиболее широкое применение в технике получили композиционные материалы, армированные высокопрочными и высокомодульными непрерывными волокнами. К ним относят:

- полимерные композиционные материалы на основе термореактивных (эпоксидных, полиэфирных, феноло-формальдегидных, полиимидных и др.) и термопластичных связующих, армированных стеклянными (стеклопластики), углеродными (углепластики), орг. (органопластики), борными (боропластики) и другими волокнами;

- металлические композиционные материалы на основе сплавов Al, Mg, Cu, Ti, Ni, Cr, армированных борными, углеродными или карбидкремневыми волокнами, а также стальной, молибденовой или вольфрамовой проволокой;

- композиционные материалы на основе углерода, армированного углеродными волокнами (углерод-углеродные материалы);

- композиционные материалы на основе керамики, армированной углеродными, карбидкремневыми и другими жаростойкими волокнами и SiC.

При использовании углеродных, стеклянных, арамидных и борных волокон, содержащихся в материале в кол-ве 50-70%, созданы композиции с ударной прочностью и ударным модулем упругости в 2-5 раз большими, чем у обычных конструкционных материалов и сплавов. Кроме того, волокнистые композиционные материалы б металлы и сплавы по усталостной прочности, термостойкости, виброустойчивости, шумопоглощению, ударной вязкости и другим свойствам.

Композиты, в которых матрицей служит полимерный материал, являются одним из самых многочисленных и разнообразных видов материалов. Их применение в различных областях дает значительный экономический эффект. Например, использование ПКМ при производстве космической и авиационной техники позволяет сэкономить от 5 до 30% веса летательного аппарата. А снижение веса, например, искусственного спутника на околоземной орбите на 1 кг приводит к экономии 1000\$. В качестве наполнителей ПКМ используется множество различных веществ.

А) Стеклопластики – полимерные композиционные материалы, армированные стеклянными волокнами, которые формуют из расплавленного неорганического стекла. В качестве матрицы чаще всего применяют как термореактивные синтетические смолы (фенольные, эпоксидные, полиэфирные и т.д.), так и термопластичные полимеры (полиамиды, полиэтилен, полистирол и т.д.). Эти материалы обладают достаточно высокой прочностью, низкой теплопроводностью, высокими электроизоляционными свойствами, кроме того, они прозрачны для радиоволн. Использование стеклопластиков началось в конце Второй мировой войны для изготовления антенных обтекателей – куполообразных конструкций, в которых размещается антенна локатора. В первых армированных стеклопластиках количество волокон было небольшим,

волокно вводилось, главным образом, чтобы нейтрализовать грубые дефекты хрупкой матрицы. Однако со временем назначение матрицы изменилось – она стала служить только для склеивания прочных волокон между собой, содержание волокон во многих стеклопластиках достигает 80% по массе. Слоистый материал, в котором в качестве наполнителя применяется ткань, плетенная из стеклянных волокон, называется стеклотекстолитом.

Стеклопластики – достаточно дешевые материалы, их широко используют в строительстве, судостроении, радиоэлектронике, производстве бытовых предметов, спортивного инвентаря, оконных рам для современных стеклопакетов и т.п.

Б) Углепластики – наполнителем в этих полимерных композитах служат углеродные волокна. Углеродные волокна получают из синтетических и природных волокон на основе целлюлозы, сополимеров акрилонитрила, нефтяных и каменноугольных пеков и т.д. Термическая обработка волокна проводится, как правило, в три этапа (окисление – 220° С, карбонизация – 1000–1500° С и графитизация – 1800–3000° С) и приводит к образованию волокон, характеризующихся высоким содержанием (до 99,5% по массе) углерода. В зависимости от режима обработки и исходного сырья полученное углеволокно имеет различную структуру. Для изготовления углепластиков используются те же матрицы, что и для стеклопластиков – чаще всего – термореактивные и термопластичные полимеры. Основными преимуществами углепластиков по сравнению со стеклопластиками является их низкая плотность и более высокий модуль упругости, углепластики – очень легкие и, в то же время, прочные материалы. Углеродные волокна и углепластики имеют практически нулевой коэффициент линейного расширения. Все углепластики хорошо проводят электричество, черного цвета, что несколько ограничивает области их применения. Углепластики используются в авиации, ракетостроении, машиностроении, производстве космической техники, медтехники, протезов, при изготовлении легких велосипедов и другого спортивного инвентаря.

На основе углеродных волокон и углеродной матрицы создают композиционные углеграфитовые материалы – наиболее термостойкие композиционные материалы (углеуглепластики), способные долго выдерживать в инертных или восстановительных средах температуры до 3000° С. Существует несколько способов производства подобных материалов. По одному из них углеродные волокна пропитывают фенолформальдегидной смолой, подвергая затем действию высоких температур (2000° С), при этом происходит пиролиз органических веществ и образуется углерод. Чтобы материал был менее пористым и более плотным, операцию повторяют несколько раз. Другой способ получения углеродного материала состоит в прокаливании обычного графита при высоких температурах в атмосфере метана. Мелкодисперсный углерод, образующийся при пиролизе метана, закрывает все поры в структуре графита. Плотность такого материала увеличивается по сравнению с плотностью графита в полтора раза. Из углеуглепластиков делают высокотемпературные узлы ракетной техники и скоростных самолетов, тормозные колодки и диски для скоростных самолетов и многоразовых космических кораблей, электротермическое оборудование.

В) Боропластики – композиционные материалы, содержащие в качестве наполнителя борные волокна, внедренные в термореактивную полимерную матрицу, при этом волокна могут быть как в виде мононитей, так и в виде жгутов, оплетенных вспомогательной стеклянной нитью или лент, в которых борные нити переплетены с другими нитями. Благодаря большой твердости нитей, получающийся материал обладает высокими механическими свойствами (борные волокна имеют наибольшую прочность при сжатии по сравнению с волокнами из других материалов) и большой стойкостью к агрессивным условиям, но высокая хрупкость материала затрудняет их

обработку и накладывает ограничения на форму изделий из боропластиков. Кроме того, стоимость борных волокон очень высока (порядка 400 \$/кг) в связи с особенностями технологии их получения (бор осаждают из хлорида на вольфрамную подложку, стоимость которой может достигать до 30% стоимости волокна). Термические свойства боропластиков определяются термостойкостью матрицы, поэтому рабочие температуры, как правило, невелики.

Применение боропластиков ограничивается высокой стоимостью производства борных волокон, поэтому они используются главным образом в авиационной и космической технике в деталях, подвергающихся длительным нагрузкам в условиях агрессивной среды.

Г) Органопластики – композиты, в которых наполнителями служат органические синтетические, реже – природные и искусственные волокна в виде жгутов, нитей, тканей, бумаги и т.д. В терморезистивных органопластиках матрицей служат, как правило, эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы, а также полиимиды. Материал содержит 40–70% наполнителя. Содержание наполнителя в органопластиках на основе термопластичных полимеров – полиэтилена, ПВХ, полиуретана и т.п. – варьируется в значительно больших пределах – от 2 до 70%. Органопластики обладают низкой плотностью, они легче стекло- и углепластиков, относительно высокой прочностью при растяжении; высоким сопротивлением удару и динамическим нагрузкам, но, в то же время, низкой прочностью при сжатии и изгибе.

Важную роль в улучшении механических характеристик органопластика играет степень ориентации макромолекул наполнителя. Макромолекулы жесткоцепных полимеров, таких, как полипарафенилтерефталамид (кевлар) в основном ориентированы в направлении оси полотна и поэтому обладают высокой прочностью при растяжении вдоль волокон. Из материалов, армированных кевларом, изготавливают пулезащитные бронежилеты.

Органопластики находят широкое применение в авто-, судо-, машиностроении, авиа- и космической технике, радиоэлектронике, химическом машиностроении, производстве спортивного инвентаря и т.д.

Д) Полимеры, наполненные порошками. Известно более 10000 марок наполненных полимеров. Наполнители используются как для снижения стоимости материала, так и для придания ему специальных свойств. Впервые наполненный полимер начал производить доктор Бейкеленд (Leo H. Baekeland, США), открывший в начале 20 в. способ синтеза фенолформальдегидной (бакелитовой) смолы. Сама по себе эта смола – вещество хрупкое, обладающее невысокой прочностью. Бейкеленд обнаружил, что добавка волокон, в частности, древесной муки к смоле до ее затвердевания, увеличивает ее прочность. Созданный им материал – бакелит – приобрел большую популярность. Технология его приготовления проста: смесь частично отвержденного полимера и наполнителя – пресс-порошок - под давлением необратимо затвердевает в форме. Первое серийное изделие произведено по данной технологии в 1916, это – ручка переключателя скоростей автомобиля «Роллс-Ройс». Наполненные терморезистивные полимеры широко используются по сей день.

Сейчас применяются разнообразные наполнители как терморезистивных, так и термопластичных полимеров. Карбонат кальция и каолин (белая глина) дешевы, запасы их практически не ограничены, белый цвет дает возможность окрашивать материал. Применяют для изготовления жестких и эластичных поливинилхлоридных материалов для производства труб, электроизоляции, облицовочных плиток и т.д., полиэфирных стеклопластиков, наполнения полиэтилена и полипропилена. Добавление талька в полипропилен существенно увеличивает модуль упругости и теплостойкость данного полимера. Сажа больше всего используется в качестве наполнителя резин, но вводится и в полиэтилен, полипропилен, полистирол и т.п. По-прежнему широко применяют органические наполнители – древесную муку, молотую скорлупу орехов, растительные

и синтетические волокна. Для создания биоразлагающихся композитов в качестве наполнителя используют крахмал.

Е) Текстолиды – слоистые пластики, армированные тканями из различных волокон. Технология получения текстолидов была разработана в 1920-х на основе фенолформальдегидной смолы. Полотна ткани пропитывали смолой, затем прессовали при повышенной температуре, получая текстолидовые пластины. Роль одного из первых применений текстолидов – покрытия для кухонных столов – трудно переоценить.

В итоге можно сказать, что для упрочнения модельных составов можно использовать двух или трехфазный композитный материал на основе полимерной матрицы и тугоплавкого твердого наполнителя, а также воздуха, в качестве третьей фазы.

В соответствии с законом аддитивности имеется возможность улучшить свойства стандартных легкоплавких модельных составов в направлении повышения прочности, теплостойкости и других параметров.

Литература

1. Салем, А. О. Изготовление выплавляемых моделей повышенной точности и теплоустойчивости / А. О. Салем, В. А. Рыбкин // Литейное производство. 2000. - № 8. - С. 27-28.
2. Литье по выплавляемым моделям/В.Н.Иванов, С.А.Казарнов, Б.С. Курчман и др.; под общ.ред.Я.И.Шкленника, В.А.Озерова.-3изд.,М.:Машиностроение, 1984.