

О ТЕПЛОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ЕДИНЫЕ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ СМЕСИ

Г. Е. Левшин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

Единые песчано-глинистые смеси (ЕПГС) применяют преимущественно при автоматическом и машинном изготовлении разовых объемных опочных и безопочных форм в массовом, крупносерийном и серийном производстве отливок из черных сплавов массой до 100 кг и реже до 200-500 кг с толщиной стенки до 50 мм, а из цветных сплавов практически без ограничения размеров и массы. Применяют и при ручной формовке. Форма из ЕПГС дороже формы из облицовочной и наполнительной смесей [1]. Ее используют из-за нерешенности вопросов механизации и автоматизации нанесения равномерного слоя облицовочной смеси на модель, упрощения изготовления более прочных форм и организации производства. ЕПГС применяют цехи автомобиле-, тракторо- и сельхозмашиностроения и др. В зависимости от способа уплотнения и прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ во влажном состоянии ЕПГС разделяют на 3 группы: уплотняемые прессованием или импульсными способами (0,15-0,22 МПа), встряхиванием или вибрацией с последующим прессованием (0,10-0,14 МПа), встряхиванием (0,05-0,08 МПа) [2]. Это обуславливает различие в их применении, рецептуре, свойствах, приготовлении.

Особенностью ЕПГС является использование (из экономии) в их составе до 90-98 % оборотной смеси (ОС). Это предопределяет основные отличия в их приготовлении и службе от других ПГС из свежих материалов [1]. ОС претерпевает неоднократно следующие воздействия: силовое, тепловое, прибавление на выбивной решетке кварцевых песчинок и их конгломератов (осколков) от стержней, отделение пыли (мелочи). Рассмотрим тепловое воздействие на ЕПГС и связанные с ним изменения.

При заливке черных сплавов контактный слой формы толщиной t_1 до 1 мм прогревается до температуры расплава, слой $t_1=10-20$ мм – до 800-1100 °С. Длительность контакта расплава с формой для отливок с толщиной стенки $\delta=40-60$ мм всего 30-50 с. При этом глубина прогрева свыше 600 °С (критической температуры для многих связующих) достигает $t_1=30-40$ мм при толщине δ до 50-60 мм [2]. Для средних машиностроительных отливок из чугуна и стали $t_1=25-30$ мм, или около 15 % от объема формы [3]. П. П. Берг приводит закономерность: «Наивысшая температура неметаллической формы не превышает половины температуры заливки в слое на приведенном рассто-

нии, не превышающем численно вдвое приведенной толщины отливки» и делает вывод: «Процессы потери химически связанной воды в глине и растрескивания кварцевых зерен происходят в форме на приведенном расстоянии, численно не превышающем двойной приведенной толщины отливки» [4]. В работе [5] подчеркивается, что эти процессы происходят только в нагретом слое формы, соизмеримом по толщине со стенкой отливки.

Последующий слой t_2 формы нагревается в гораздо меньшей степени и в нем происходит в основном испарение влаги и высыхание смеси. Остальная часть формы может не испытывать нагрева и существенных изменений. Степень нагрева первого, второго и третьего слоев определяется в основном температурой расплава, теплофизическими свойствами формы, толщиной стенки отливки, выдержкой ее в форме до выбивки, количеством стержней и отношением масс смеси $m_{см}$ и металла m_m в форме. Чем меньше $m_{см}/m_m$, тем больше нагрев и толщина t_2 второго слоя и меньше толщина t_3 третьего слоя (вплоть до 0). Влияние же стержней на нагрев формы учитывают коэффициентом C теплораспределения: для бесстержневых отливок $C=1$; для отливок, изготовленных полностью в стержнях, $C=0$; для отливок типа блока цилиндров $C=0,5-0,55$ [6].

Суммарную толщину t_1+t_2 (в м) первого и второго слоев, расположенных у плоской отливки (стенки) и прогретых от температуры $T_{зал}$ заливки расплава до температуры T_f формы перед заливкой (или окружающей среды) за время t от начала заливки до удаления из формы можно оценить по упрощенной формуле А. И. Вейника-Баландина Г. Ф. [7]:

$$(t_1+t_2)=[(n+1)(T_{зал}-T_f) \cdot V_{отл} \cdot C_{отл} \cdot \rho_{отл}] / [(T_{отл}-T_f) \cdot F_{отл} \cdot C_f \cdot \rho_f],$$

где $n=1,7-3,0$ – показатель степени параболы, уменьшающий свое значение по прямолинейной зависимости от 3 при $[(T_{кр}-T_{отл})/(T_{кр}-T_f)]=0$ (для очень тонкой отливки) до 1,7 при $[(T_{кр}-T_{отл})/(T_{кр}-T_f)]=0,8$ (для толстой отливки); $T_{кр}$ и $T_{отл}$ – темпе-

ратуры кристаллизации сплава и удаляемой из формы отливки, K ; $c_{отл}$ и $c_{ф}$ – удельные теплоемкости материалов отливки и формы, Дж/(кг·К); $\rho_{отл}$ и $\rho_{ф}$ – плотности материалов отливки и формы, кг/м³; $V_{отл}$ и $F_{отл}$ – объем и площадь поверхности отливки, м³ и м². Величина (t_1+t_2) для большинства машиностроительных отливок не превышает (2-4) δ , а расстояние от отливки до периферии объемной формы (стенки опоки) часто $>(4-5)\delta$ [7].

Нагрев бентонита более 200-300 °С ведет к полному удалению воды из межслоевого пространства (высыханию) и сближению структурных слоев монтмориллонита, что затрудняет повторный доступ воды к слоям и приводит к потере набухаемости бентонита. Поэтому его даже сушат при температуре ≤ 200 °С [8]. После нагрева до 600-800 °С глина значительно уменьшает объем из-за потери адсорбционной и цеолитной (химически связанной) воды, теряет связующую способность и превращается в пыль, которая резко уменьшает газопроницаемость и термохимическую устойчивость ЕПГС [3]. При нагреве до 1000 °С и более она увеличивает свою прочность, шамотизируется и спекается, особенно при высоком глиносодержании, когда смесь превращается в монолит [9].

В этот период происходит и оолитизация глинистых оболочек. В ЕПБС с молотым углем для чугунных автомобильных отливок при каждом цикле оолитизируется 50-60 % образующегося дегидратированного бентонита, а оставшаяся часть переходит в неактивную мелочь, которая при анализе отмучивается вместе с активным бентонитом. Важно, что до 15-35 % такого бентонита уносится из системы вентиляцией и с отливками, а в ОС остается только 10-30 %. В смесях же без органических добавок оолитизируется 80-85 % дегидратированного бентонита. Т. о., оолитизация преобладает над образованием мелочи из бентонита [6]. При оолитизации 4-5 % общей массы песка увеличивается демпфирующая способность ЕПГС, приводящая к уменьшению ужимин из-за снижения до 2,2 г/см³ кажущейся плотности оолитизированной зерновой основы и связанного с этим коэффициента термического расширения. Однако при степени оолитизации $> 5-8$ % увеличиваются пригар и шероховатость поверхности отливок и уменьшается масса стандартного образца смеси, что позволяет контролировать это явление. Из-за наличия в оолитных оболочках расщелин и пор, являющихся капиллярами, влагоемкость оболочек и такой зерновой основы существенно увеличивается [6]. Усадка же глины (до 10-15 раз) в нагретой форме компенсируется увеличением объема песчинок при полиморфном превращении $\alpha \rightarrow \beta$ SiO₂ [2, 8].

Удаление конституционной воды в Черкасском бентоните происходит при 545 °С, Аскангельском – при 690 °С, Огланлинском – при 720 °С, а в каолиновых глинах – только при 450-550 °С [8]. Температура же спекания минералов составляет (0,6-0,9) $T_{пл}$ – температуры их плавления [10]. Так, у чистого кварцевого песка $T_{пл} \approx 1750$ °С, а у оолитных оболочек ~ 1150 °С [6]. Спекаемость песков определяют уже после нагрева свыше 1200 °С (ГОСТ 23409.20 – 78).

Максимальную толщину t_1 (в см) прогретого слоя формы, в котором бентонит полностью теряет связующую способность, оценивают по формуле: $t_1 = 111000(\delta + 0,2)K_T / (T - 200)^2$,

где δ – толщина отливки, см, K_T – коэффициент, равный отношению температуры заливаемого металла к температуре жидкого чугуна 1653 К; T – температура прогрева слоя, К [8]. Так, при $\delta = 10$ мм, $K_T = 1,05$, $T = 993$ К для Огланлинского бентонита толщина $t_1 = 0,22$ см, а при $\delta = 20$ мм – $t_1 = 0,41$ см. В случае же Черкасского бентонита ($T = 818$ К) для тех же отливок $t_1 = 0,37$ и 0,67 см, соответственно. Легко видеть, что из этих глин наименьшее образование неактивной глины, превращающейся в пыль, и расход на освежение у Огланлинского бентонита.

Содержание неактивной глины в виде пыли P_n (%), образующейся из находящейся в смеси глинистой составляющей G_o (%) в результате n -го числа заливок при содержании P_o неактивной глины в виде пыли в исходной смеси (при отсутствии уноса смеси отливками и вентиляцией) оценивают по формуле:

$P_n = P_o [1 - (1 - D)^n] G_o$, где D – коэффициент, учитывающий степень (долю) перехода глинистой составляющей в пыль после каждой заливки. Средние доли потери свойств разных бентонитов при изготовлении чугунных отливок с $\delta = 10$ мм составляют 0,13 – 0,31 [8].

Содержание неактивной глины в ЕПГС неизбежно и в небольших количествах безвредно. Но при больших количествах смесь становится плотной и требует увеличения влажности. Поэтому для получения гарантированных прочности формы и размерной точности отливок нужно поддерживать в ЕПГС определенное соотношение между общим содержанием глинистой составляющей и содержанием неактивной глины. В ЕПБС общее содер-

жание активного бентонита рекомендуется (в зависимости от требуемой прочности) для мелких отливок 4-7 %, а для средних – 7-9 %. Допустимое же наибольшее содержание неактивной глины 1,5-2 % для стальных отливок и 2,5-3 % - чугуновых при общем содержании глинистой составляющей 10-13 % [5]. Для расчета количества активной глины предложена эмпирическая зависимость между влажностью W (%), прочностью $\sigma_{сж}$ (кПа), уплотняемостью U (%) [5]: $\Gamma_{расч} = (0,435\sigma_{сж} \cdot W \cdot \log U + 362) / 209$.

С повышением температуры увеличиваются степень потери активности всех компонентов смеси (связующих другого вида, выгорающих добавок и т. п.) и затраты на охлаждение ОС [8]. Причем органические связующие и добавки частично сгорают, а частично коксуются, образуют золу и мелкие частицы углерода. Эти вещества заполняют поры ЕПГС, снижают ее газопроницаемость и огнеупорность [3].

Количество m_k активного компонента в смеси после каждого цикла изготовления отливки уменьшается на величину $(m_k - m_{кп})$, а его остаток $m_{кп}$ после n -ого цикла можно оценить по формуле: $m_{кп} = m_k [1 - (m_{сл}/m_{ф})]^n$,

где $m_{сл}$ – масса слоя смеси, где происходит полная потеря активности данного ее компонента [12]. Величина $m_{сл}/m_{ф}$ зависит от свойств компонента и заливаемого металла и соотношения смесь-металл. Так, для чугуновых автомобильных отливок и $m_{см}/m_{м} = 6/1$ она практически постоянна при увеличении числа заливок и составляет для бентонита 0,1; активной каменноугольной пыли 0,2; крахмалита 0,34.

Количество имеющейся в ЕПГС и ОС мелкой фракции ($<0,063$ мм) определяется соотношением вводимых в неё при освежении мелких частиц (глинистой составляющей в виде бентонита или огнеупорной глины, каменноугольной пыли, пылевидных фракций песчаной основы, добавок), а также мелкодисперсных продуктов ее износа (осколков песчинок и оолитных оболочек, дополнительно образовавшейся неактивной глины, золы, кокса и «блестящего» углерода от сгоревших или разрушивших органических ингредиентов) [5]. Количество же выгорающих веществ (п. п. п.) определяется как потеря массовой доли при прокаливании ($\tau = 2$ ч, $T = 1000$ °C) высушенной при 105-110 °C навески ЕПГС. Общие п. п. п. изменяются в основном в зависимости от содержания кокса и каменноугольной пыли. Для автоматического изготовления чугуновых отливок п. п. п. составляют 3-5 % [5]. Его превышение указывает на недостаточное освежение ЕПГС песком [5].

Для ЕПГС весьма важным является сохранение глиной её свойств при многократном использовании, т.е. долговечность, определяемая как

прочность $\sigma_{сж}$ после третьего обжига при температуре 500 °C в течение часа. Долговечность глин возрастает с увеличением температуры начала необратимой потери минералом конституционной воды. Для Na-бентонитов она составляет 75-80 %, а для Ca-бентонитов – 50-60 %. Долговечность смесей с активированным бентонитом в 1,5-2 раза выше, чем с неактивированным, т.к. реакции дегидратации у активированных бентонитов проходят при более высоких температурах, чем у неактивированных [8]. Основной же причиной потери долговечности ЕПГС является накопление в смеси пыли из-за растрескивания песчинок и потери воды каолинитом и монтмориллонитом [9].

Растрескивание песчинок связано с изменениями их плотности и объема (вследствие полиморфных превращений), сопровождающимися возникновением напряжений и трещин. Так, при 573 °C происходит быстрое превращение $\alpha \rightarrow \beta$ -кварц с увеличением объема на 2,4 % и уменьшением плотности с 2,65 до 2,53 г/см³, а при > 870 °C имеет место превращение β -кварц $\rightarrow \gamma$ -тридимит с дальнейшими колоссальными увеличением объема на 15,2 % и уменьшением плотности с 2,53 до 2,22 г/см³. Относительно скорости превращения β -кварц $\rightarrow \gamma$ -тридимит нет единого мнения, т. к. она возрастает при повышении температуры и длительности нагрева и наличии минерализаторов, к которым относятся соединения щелочных металлов, особенно Na и K, присутствующие в ЕПГС [5]. При охлаждении ЕПГС происходят, как правило, обратные превращения, которые увеличивают растрескивание, превращение в пыль и соответствующее изменение зернового состава [3]. Однако в ОС после неоднократных циклов находят тридимит, который в естественных песках практически не встречается [5]. К сожалению, не указана его модификация, которых может быть три α , β , γ , в т. ч. низкотемпературная. Возможно, с этим связано мнение [8], что остывшие (после нагрева теплом отливки) песчинки ОС меньше расширяются и растрескиваются и это делает ОС ценным исходным формовочным материалом.

Особо отметим, что в литературе пока нет общепринятых буквенных обозначений модификаций трех основных форм кремнезема: кварца, тридимита и кристобаллита, а приведенная нами схема превращений не охватывает всю сложность явлений.

Однако это позволяет считать, что долговечность песчинки, нагретой до 900 °С и выше, составляет всего 1 цикл [10]. Ее растрескивание обнаруживается чаще всего после обработки в смесителе после приложения к ней некоторой нагрузки [11], которая значительно меньше необходимой для разрушения не термообработанных песчинок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология литейного производства: формовочные и стержневые смеси //Под ред. С.С. Жуковского, А.Н. Болдина и др. – Брянск: БГТУ, 2002. – 470 с.
2. Бречко А.А., Великанов Г.Ф. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами. – Л: Машиностроение, 1982. – 216 с.
3. Степанов Ю.А., Семенов В.И. Формовочные материалы. – М.: Машиностроение, 1969. -157 с.
4. Вопросы теории литейных процессов.- М.: Машгиз, 1960.- 693 с.
5. Дорошенко С. П. и др. Формовочные материалы и смеси. – К.: Вища шк.,1990. – 415 с.
6. Кваша Ф.С., Туманова Л.П. Оолитизация зерновой основы формовочной смеси как одна из причин нестабильной влажности //ЛП, 2003, № 7. - С. 25 – 28.
7. Баландин Г.Ф. Теория формирования отливки. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.- 360 с.
8. Илларионов И.Е., Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси. – Чебоксары: ЧувГУ, 1992. – 223 с.
9. Сосненко М.Н. Приготовление формовочных стержневых смесей. - М.: Высш. шк., 1972. – 256 с.
10. Левшин Г.Е. О долговечности формовочных материалов и смесей //В сб. "Перспектив. матер., технолог., конструкц.". – Красноярск: САА, 1998. - С. 109-112.
11. Берг П.П. Формовочные материалы. – М.: Машгиз, 1963. – 408 с.
12. Аксенов П. Н. и др. Свойства оборотной смеси и расчет освежения //ЛП, 1974, №11. С. 20-21