

Summary

Shumakov V., Balakin V., Sekachov A., Kotlear E., Ushkova V., Shablovsky V., Kluchkin A., Moroz Ju., Moiseychik A.

Slag-forming powder mixture TSK-K-20(BA) for the continuous casting mould of JSC «Azovelektrosteel»

The results of researches on the phasic transformations temperature for the mixture TSK-K-20(BA) of JSC «Techmet», viscosities of slag depending on a temperature and the macrostructure of the casted low- and mild carbon steel billets (250×250 mm), also manganese steel with the mass content of carbon 0,18-0,50 %, casted with its use are stated. Mixture TSK-K-20(BA) corresponds to the requirements of production and is currently used at the continuous casting of steel on JSC «Azovelektrosteel».

Keywords

continuous casting of steel, temperature, mixture, phasic transformations, slag viscosity, macrostructure of billet

Поступила 26.05.10

УДК 621.74.04

С. И. Репях

Частное научно-производственное предприятие «Карион-Сервис», Днепропетровск

Требования к модельным составам отливок особо ответственного назначения

Приведены требования к модельным составам, используемым в производстве деталей особо ответственного назначения методом литья по выплавляемым моделям.

Ключевые слова: состав модельный, усадка, коробление, утяжина, точность, модель

Из числа отливок особо ответственного назначения, серийно изготавливаемых методом литья по выплавляемым моделям, наибольшее количество составляют турбинные лопатки, сопловые аппараты, рабочие колеса турбин и т. п. В числе прочих требований к качеству этих отливок немаловажное место занимают требования по параметрам точности (размерной, формы и массы, шероховатости поверхности), регламентируемые соответствующими отраслевыми стандартами. Повышенные требования к параметрам точности отливок данной категории обусловлены условиями их эксплуатации, надежностью и долговечностью, а также отсутствием механической обработки большей части их «рабочих» поверхностей и отсутствием на них припусков.

В номенклатуре отливок особо ответственного назначения основную долю литья составляют турбинные лопатки. Наиболее проблемными в части стабильности точностных параметров являются неохлаждаемые турбинные лопатки. Уровень окончательного брака неохлаждаемых турбинных лопаток по параметрам точности в настоящее время не превышает 3-4 %. Тем не менее, от 30 до 100 % этих лопаток, из числа признанных годными, рихтуют (исправимый брак). При изготовлении неохлаждае-

мых турбинных лопаток из сплавов с низким уровнем пластических свойств все лопатки с недопустимой величиной коробления попадают в категорию неисправимого (окончательного) брака, который периодически может достигать 20 % и более от числа произведенных лопаток.

В литье по выплавляемым моделям точностные параметры отливок, в основном, определяются точностью их выплавляемых моделей (ВМ). В свою очередь, точность любой ВМ зависит от свойств используемого модельного состава, условий производства и хранения ВМ, конфигурационных особенностей ВМ и т. д. Указанная зависимость точности ВМ объясняется двумя факторами. Во-первых, любая ВМ, изготавливаемая из жидкого или пастообразного модельного состава, по сути является литым изделием – отливкой. Поэтому формирование ВМ в пресс-форме сопровождают процессы, присущие формированию отливок из металлов и их сплавов, пластмасс, стекла, камня и других в форме, которые негативно влияют на точностные параметры модели. Во-вторых, коэффициент термического линейного расширения любого воскоподобного модельного состава на один и более порядков больше, а температура плавления и механические свойства – меньше аналогичных параметров материала металлических

отливок и керамической оболочковой формы. Поэтому размеры и форма ВМ весьма чувствительны к изменениям ее температурно-временных параметров изготовления, хранения, подготовки к нанесению на нее огнеупорного покрытия и т. п.

Из вышеизложенного следует, что при разработке или выборе модельного состава для изготовления ВМ отливок особо ответственного назначения, прежде всего, следует ориентироваться на параметры модельного состава, ответственные за достижение соответствующего уровня точности литья, и его стабильность в реальных условиях производства отливок. Использование любого другого подхода к разработке или выбору модельного состава является одной из основных причин того, что из сотен известных авторских свидетельств и патентов на модельные составы на отечественных предприятиях используют 4-5 марок модельных составов (преимущественно зарубежного производства), которые, тем не менее, также не лишены ряда весьма существенных недостатков.

Отсутствие системного подхода в изучении закономерностей формирования точности ВМ привело к тому, что на сегодняшний день разработчики модельных составов для производства отливок особо ответственного назначения не располагают полным объемом научно обоснованных требований к своей продукции. Поэтому в своей работе они ориентируются на ограниченное и недостаточное число показателей модельного состава (предел прочности при статическом изгибе при 18-20 °С, технологическая линейная усадка, теплоустойчивость, зольность, кислотное число и кинематическая вязкость жидкого модельного состава при 100 °С). По этой же причине потребители модельных составов не имеют возможности в полной мере оценить пригодность того или иного модельного состава для своего производства без опробования в промышленных условиях.

Исследование закономерностей формирования точности ВМ – довольно актуальная проблема, а разработка научно обоснованных требований к современным модельным составам для отливок особо ответственного назначения и, соответственно, разработка модельных составов, отвечающих данным требованиям, – актуальная задача, которая является целью настоящих исследований.

В работе провели оценку условий серийного производства отливок особо ответственного назначения на отечественных предприятиях (табл. 1).

На основе анализа условий производства отливок и априорной информации составили перечень основных параметров и требований к модельному составу, ответственных за его технологичность и обеспечение требуемого уровня точности литья.

Основные требования к параметрам, обеспечивающим технологичность модельного состава, приведены в табл. 2.

Перечень параметров модельного состава, ответственных за точность отливок, приведен в табл. 3.

Технологическую (линейную) усадку модельного состава в литейном цехе, как правило, определяют по длине образцов ВМ, изготовленных в виде брусков

различного квадратного сечения и длины. В соответствии с данными работ [1, 2] для ВМ, выполненной в виде бруса квадратного сечения со стороной поперечного сечения (b), величину коэффициента технологической усадки по длине ВМ можно рассчитать по формуле, %

$$\alpha_{MC} = 100 \left[\alpha_C - \frac{\sigma_{TP}}{E_{MC}} \left(\frac{4l}{b} \right)^m \right], \quad (1)$$

где α_C – коэффициент свободной линейной усадки модельного состава, %; σ_{TP} – касательные напряжения, возникающие в ВМ при ее усадке, Па; E_{MC} – модуль упругости модельного состава при растяжении, Па; l – длина ВМ, см; b – длина стороны поперечного сечения ВМ, см; m – показатель степени, учитывающий влияние давления запрессовки (P) модельного состава в пресс-форму на величину усадки ВМ.

Качественная зависимость величины технологической усадки ВМ квадратного сечения от давления запрессовки модельного состава в пресс-форму представлена на рис. 1, анализ которой показывает, что технологическая усадка ВМ понижается с увеличением давления запрессовки модельного состава в пресс-форму, а также с увеличением протяженности ВМ при ее неизменном поперечном сечении.

В случае нарушения химического состава модельного состава или замены одной марки модельного состава на другую, зависимость коэффициента технологической усадки ВМ от ее длины может измениться в соответствии с рис. 2, где цифрами 1 и 2 обозначены зависимости для модельных составов № 1 и 2 соответственно. Пунктирными линиями на рис. 2 обозначены допустимые пределы изменения коэффициента технологической усадки ВМ, обеспечивающие получение реальных отливок «в размер».

Из анализа зависимостей на рис. 2 следует, что при расчете рабочих полостей пресс-форм назначение на все стенки и элементы отливки фиксированного значения технологической усадки модельного состава модельный состав № 1 позволяет получать ВМ и, соответственно, отливки «в размер» при любой их длине. В то же время, модельный состав № 2 позволяет получать отливки «в размер» только на длинах элементов ВМ от l_1 до l_3 . То есть при длинах элементов ВМ $< l_1$ данные размеры отливки «уходят в минус» от их минимально допустимого значения, при ВМ $> l_3$ – все размеры отливки «уходят в плюс» от их максимально допустимого значения. При этом определение величины технологической усадки ВМ на образце с длиной l_2 будет давать одинаковые значения для обоих модельных составов.

Из этого следует, что контроль технологической усадки модельного состава по образцу ВМ одного типоразмера не целесообразен. Поэтому для контроля стабильности качества модельного состава по параметру его технологической линейной усадки использовали результаты определения технологической линейной усадки на трех образцах ВМ. При этом образцы ВМ изготавливали одновременно в одной пресс-форме. Принятые в работе образцы

Условия производства отливок особо ответственного назначения

Параметры, оснастка, материал, процесс	Величина, характеристика	
Пресс-формы	Стальные, ручного типа, без принудительного охлаждения. В расчетах размеров рабочих полостей пресс-форм линейную усадку модельного состава принимают равной 1 %. Для стенок ВМ толщиной менее 2 мм припуск на линейную усадку по толщине стенки назначают эквидистантно	
Смазка рабочей поверхности пресс-формы	Периодическая, полидиметилсилоксаном, жидким мылом, раствором мыла в воде	
Изготовление ВМ	Из пастообразного модельного состава. Некоторые ВМ собирают из отдельных частей склеиванием	
Температура модельного состава при его запрессовке в пресс-форму	От 64 до 72 °С, с точностью ±1 °С	
Начальная температура пресс-формы при запрессовке в нее модельного состава	25-30 °С, аппаратурно не контролируется	
Цикличность запрессовки пресс-формы	Аппаратурно не контролируется	
Режим запрессовки модельного состава в пресс-форму	Регулируется давление прессования (0,3-0,7 МПа) и длительность выдержки модельного состава в пресс-форме под давлением (1-10 мин)	
Общая длительность выдержки ВМ в пресс-форме	3-30 мин, аппаратурно не контролируется	
Длительность выдержки ВМ в драйере	В случае применения – 15-60 мин, аппаратурно не контролируется	
Температура ВМ при ее извлечении из пресс-формы	Не контролируется	
Длительность нахождения ВМ на воздухе до сборки модельного блока	Не менее 7-12 ч, аппаратурно не контролируется	
Крепление модели отливки на модельном блоке	Преимущественно консольное, методом пайки	
Место хранения моделей и модельных блоков	Помещение с автоматически регулируемой или нерегулируемой температурой воздуха	
Длительность нахождения ВМ на воздухе до нанесения на модельный блок огнеупорного покрытия	Не более 3-х суток, аппаратурно не контролируется	
Начальная температура ВМ к моменту нанесения на нее огнеупорного покрытия	24-26 °С (при кондиционировании воздуха) 17-33 °С (без кондиционирования воздуха)	
Обезжиривание поверхности модельного блока	Окунанием вручную модельного блока в смесь растворителей органического происхождения	
Нанесение огнеупорного покрытия на модельные блоки	Вручную. Контроль качества послойно, визуально	
Пылевидный наполнитель огнеупорной суспензии	Дистен-силлиманит, электрокорунд белый, электрокорунд белый с добавкой алюмината кобальта для поверхностного внутрiformенного модифицирования никелевых жаропрочных сплавов	
Материал для обсыпки блоков	Электрокорунд белый, зернистый	
Сушка слоев огнеупорного покрытия на основе кремнезоля	В потоке воздуха с температурой 26-28 °С. Длительность сушки аппаратурно не контролируется	
Сушка слоев огнеупорного покрытия на основе гидролизованного раствора этилсиликата	На воздухе → в вакууме → в газообразном аммиаке → на воздухе. Автоматизированный контроль стадий сушки в вакууме и газообразном аммиаке	
Среда выплавления модельного состава из форм	Водяной пар с температурой 150-170 °С под давлением 0,7-0,8 МПа	
Регенерированный модельный состав для ВМ отливок особого назначения	не используется	используется
	с твердым наполнителем или температурой плавления более 100 °С	без твердого наполнителя и температурой плавления менее 100 °С
Прокаливание керамических оболочковых форм (КО)	Без опорного наполнителя в 1-2 цикла или за один цикл в сыпучем опорном наполнителе при 950-980 °С. Газовая среда – окислительная	
Заливка КО	В вакууме при температуре 940-970 °С	
Охлаждение отливки	1. В вакууме (5-15 мин) → на воздухе при 700-750 °С (2-4 ч) → на воздухе до 20-30 °С. 2. В вакууме (5-15 мин) → на воздухе до 20-30 °С	
Очистка отливки	Абразивоструйная, выщелачивание	
Обработка поверхностей отливки	Отдельные поверхности механически обрабатывают и/или полируют	
Ремонт отливок	Рихтовка и заварка дефектных мест	

Параметры технологичности модельного состава

Параметр	Величина, требование
Температура пастообразного модельного состава при его запрессовке в пресс-форму, °С	64-72
Интервал пастообразного состояния, °С	≥ 3
Массовая доля золы, %	≤ 0,15
Кинематическая вязкость при 100 °С, м ² /с	≤ 30
Плотность при 20 °С, г/см ³	≤ 1,2
Предел прочности при статическом изгибе при 18-20 °С клеевого соединения элементов ВМ, МПа (не менее)	6,5 (если ВМ собирают из отдельных частей методом склеивания)
Использование модельного состава для изготовления ВМ после регенерации	Возможно
Обрабатываемость механическим способом (пластичность модельного состава)	Обработка сопровождается образованием стружки сливного типа
Степень воздействия на организм человека	IV класс опасности (малоопасный) согласно ГОСТ 12.1.007

Таблица 3

Параметры модельного состава, определяющие точность отливок

Параметр, критерий	Влияние
Коэффициент линейной усадки	РТ
Коэффициент термического линейного расширения	РТ, ТФ, ТР
Теплоустойчивость	ТФ, ТР
Предел прочности при статическом изгибе при 18-20 °С	ТФ, ТР
Текущность	ТФ
Скорость растворения (физического, химического) в растворителе огнеупорной суспензии	ТФ
Коэффициент объемной усадки при переходе из жидкого в твердое состояние	УТ
Коэффициент адиабатической сжимаемости в жидком состоянии	УТ
Содержание аморфной фазы в структуре	УТ, ЧП
Содержание наполнителя	ЧП, РТ, ТФ

Примечание: РТ – размерная точность, ТФ – точность формы (коробление), ТР – трещиностойчивость ВМ, УТ – утяжинообразование в ВМ, ЧП – чистота поверхности ВМ

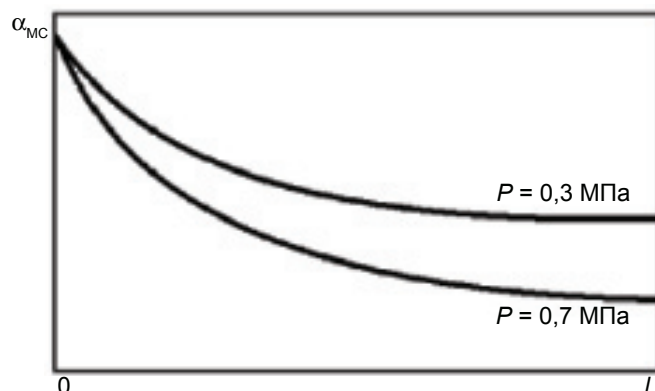


Рис. 1. Изменение технологической усадки ВМ от давления запрессовки модельного состава в пресс-форму (P) и длины ВМ (l)

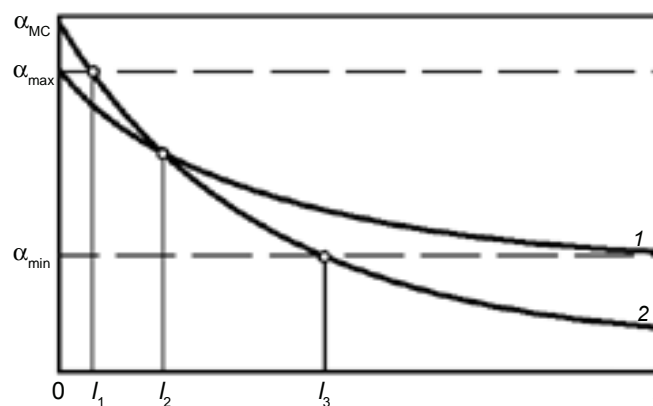


Рис. 2. Изменение технологической усадки ВМ от их длины (l) и типа модельного состава

имели соотношения $4l : b$ будут равны 10; 40 и 100, что соответствовало соотношениям подавляющего количества типоразмеров реальных ВМ.

В качестве оценочных параметров технологической усадки использовали данные об усадке ВМ с соотношением $4l : b = 40$ и величине критерия размерной равноточности ВМ (K_p), которую рассчитывали по формуле [2]

$$K_p = \alpha_{МС}^{(10)} - \alpha_{МС}^{(100)}, \quad (2)$$

где $\alpha_{МС}^{(10)}$, $\alpha_{МС}^{(100)}$ – технологическая усадка по длине ВМ балочного типа при величине соотношения $4l : b$ равным соответственно 10 и 100, %.

Размерная равноточность ВМ и стабильность модельного состава по величине технологической усадки ВМ тем выше, чем меньше величина критерия K_p .

Коэффициент термического линейного расширения (КТЛР) – параметр, ответственный и за размерную точность ВМ [3], и за точность ее формы (коробление) [4], и за трещиностойчивость модельного состава (трещиностойчивость I и II в соответствии с классификацией работы [4]). Чем меньше КТЛР, тем меньше абсолютное значение изменения размеров и формы ВМ при изменении ее температуры в процессе хранения, обезжиривания, сушки на ее поверхности огнеупорного покрытия при прочих равных условиях [3].

Влияние КТЛР на трещиностойкость I материала ВМ следует рассматривать в совокупности с температурой теплоустойчивости модельного состава. Это связано с тем, что трещины в ВМ образуются в интервале температур нахождения модельного состава в упругом состоянии, то есть в интервале от $t_{ПВ}$ до $t_{И}$, где $t_{ПВ}$ – температура перехода модельного состава из пластического состояния в упругое, а $t_{И}$ – температура ВМ в момент извлечения ее из пресс-формы. Соответственно, при $\Delta t_{ПВ} = t_{ПВ} - t_{И} = \text{const}$, чем больше КТЛР, тем выше растягивающие напряжения, возникающие в ВМ. В то же время при неизменной величине КТЛР растягивающие напряжения в ВМ тем больше, чем больше $\Delta t_{ПВ}$.

При неизменной величине КТЛР и $t_{ПВ}$ избежать образования трещины (снижения величины растягивающих напряжений) в ВМ можно за счет повышения температуры $t_{И}$, например, путем повышения начальной температуры пресс-формы или за счет сокращения длительности охлаждения ВМ в пресс-форме. Однако, с увеличением $t_{И}$ возрастает разность между $t_{И}$ и температурой окружающей среды $t_{ОС}$, что способствует повышению величины коробления ВМ [5].

Трещина в ВМ появляется в момент, когда образующиеся в ней напряжения растяжения превысят предел прочности модельного состава на разрыв (σ_B). Поскольку с увеличением σ_B возрастает и предел прочности при статическом изгибе $\sigma_{И}$, в качестве параметра, определяющего как трещиностойкость I модельного состава, так и точность формы отливки, можно принять величину $\sigma_{И}$.

Трещиностойкость I модельных составов и склонность ВМ к короблению оценивали по величине параметрического критерия [6]

$$K_S = \frac{t_{ПВ} - t_{ОС}}{t_{КР} - t_{ОС}}, \quad (3)$$

где $t_{ОС}$ – температура воздуха окружающей среды (комнатная температура), °С; $t_{КР}$ – температура кристаллизации (затвердевания) материала ВМ, °С.

В соответствии с данными работы [6], растрескиванию в пресс-форме подвержены ВМ, материал которых имеет величину критерия $K_S > 0,5$, а короблению – из модельных составов с величиной $K_S > 0,4$.

Поскольку в формуле (1) температура перехода материала ВМ из пластического состояния в упругое, по сути, равна температуре теплоустойчивости модельного состава, используя выражение (1) и приняв предельные значения $K_S = 0,5$, $t_{ПВ} = 40$ °С и $t_{ОС} = 17$ °С, несложно рассчитать, что минимальная температура кристаллизации (затвердевания) модельного состава для предупреждения образования трещин в ВМ должна составлять $t_{КР} = 63$ °С. В то же время при $t_{ОС} = 24$ °С минимальная величина $t_{КР} = 56$ °С. С точки зрения коробления ВМ с теми же исходными значениями параметров при $t_{ОС} = 17$ °С величина $t_{КР}$ должна быть не менее 74,5 °С, а при $t_{ОС} = 24$ °С – не менее 64 °С. То есть при величине теплоустойчивости модельного состава 40 °С и точности поддержания температуры пастообразного состояния модельного состава при запрессовке ± 1 °С (см. табл. 1) интервал

пастообразного состояния модельного состава должен быть не менее 3 °С, а температура его кристаллизации (затвердевания) – не менее 63 °С.

Для расчета коэффициента термоустойчивости модельного состава (трещиностойчивости II) использовалась формула Винкельмана-Шотта, записанную в виде

$$K_T = \frac{\lambda_{MC} \sigma_B}{c_{MC} \rho_{MC} k_{BM} E_{MC}}, \quad (4)$$

где λ_{MC} – теплопроводность модельного состава при 25 °С, Вт/(м·град); σ_B – предел прочности при растяжении модельного состава при 25 °С, Па; c_{MC} – удельная теплоемкость модельного состава при 25 °С, Дж/(кг·град); ρ_{MC} – плотность модельного состава при 25 °С, кг/м³; k_{BM} – КТЛР материала ВМ при 25 °С, град⁻¹.

В соответствии с данными работы [7] критерием склонности модельного состава к короблению в ВМ является соотношение

$$K_{KR} = \frac{k_{MA3}}{k_{MC}}, \quad (5)$$

где k_{MA3} – КТЛР модельного состава, затвердевшего в условиях абсолютно затрудненной усадки ВМ, град⁻¹; k_{MC} – КТЛР модельного состава, затвердевшего в условиях свободной усадки ВМ, град⁻¹.

В соответствии с формулой (3) коробление ВМ уменьшается с увеличением величины критерия K_{KR} и исчезает при $K_{KR} = 1$.

Результаты исследований [4] свидетельствуют, что коробление ВМ снижается с уменьшением величины КТЛР модельного состава и связано с температурой перехода модельного состава из пластического состояния в упругое. Кроме этого степень коробления ВМ, при прочих равных условиях, во многом зависит от величины адгезионных сил, возникающих между поверхностями пресс-формы и ВМ, а также условий производства ВМ. Исходя из этого, склонность модельного состава к короблению оценивали величиной стрелы прогиба ВМ балочного типа несимметричного таврового сечения по методике [6, 8].

Текучесть модельного состава предопределяет как точность формы ВМ, так и отливки. Модельный состав с высокой текучестью позволяет получать ВМ без «недопрессовок», спаев, обеспечивает четкое и полное воспроизведение на ВМ рельефа всех поверхностей рабочей полости пресс-формы.

Скорость растворения (физического, химического) модельного состава в растворителе огнеупорной суспензии должна быть достаточно высокой. В этом случае после высыхания первого слоя огнеупорной суспензии на поверхности ВМ между высохшим слоем и ВМ остается физико-химическая связь (адгезионные силы). Наличие такой связи предупреждает отслаивание первого и последующих слоев огнеупорного покрытия от поверхности ВМ, что способствует повышению точности формы и чистоты поверхности отливки [9].

Склонность модельного состава к образованию утяжин в ВМ оценивают по величине критерия [10].

$$K_{RS} = \frac{\beta}{P_{\Pi} \beta_{СЖ}}, \quad (6)$$

где β – коэффициент объемной усадки модельного состава при его переходе из жидкого состояния в твердое; $\beta_{СЖ}$ – коэффициент адиабатической сжимаемости жидкого модельного состава, Па⁻¹; P_{Π} – давление запрессовки модельного состава в пресс-форму, Па.

Утяжины в ВМ будут отсутствовать, если $K_{RS} \leq 1$. В соответствии с (4) величина критерия K_{RS} тем меньше, чем меньше коэффициент объемной усадки модельного состава при его переходе из жидкого состояния в твердое и чем больше давление запрессовки модельного состава в пресс-форму и выше коэффициент адиабатической сжимаемости жидкого модельного состава при температуре его кристаллизации (затвердевания).

Вещества с аморфной структурой имеют наибольший коэффициент адиабатической сжимаемости в жидком состоянии и наименьший коэффициент объемной усадки при кристаллизации (затвердевании). Поэтому модельный состав, наименее склонный к образованию утяжин в ВМ, должен содержать не менее 50 % (по объему) материала с аморфной структурой. Наличие аморфной структуры у модельного состава помимо этого обеспечивает получение ВМ с глянцевой поверхностью [11], что также способствует повышению чистоты поверхности отливок [3].

Наличие наполнителя (газообразного или твердого) в модельном составе снижает его усадку, а газообразный наполнитель (воздух) помимо этого способствует еще и предупреждению образования утяжин

в ВМ при некотором понижении стабильности размерной точности ВМ [12]. Тем не менее, ВМ, содержащие наполнитель, имеют матовую поверхность. Поэтому для получения ВМ с глянцевой поверхностью в пресс-форму запрессовывают модельный состав без наполнителя.

Для определения количественных значений показателей, приведенных в табл. 3, исследовали свойства модельных составов производства Беларуси, России, Германии, США.

Методики определения параметров табл. 3 приведены в табл. 4.

В настоящей работе склонность модельных составов к образованию утяжин в ВМ (табл. 4) оценивали по глубине утяжины в центральной части большего основания ВМ, выполненной в форме усеченного конуса по методике [3]. Такой выбор объясняется тем, что существующие методики определения коэффициента адиабатической сжимаемости и объемной усадки расплава модельного состава характеризуются значительной погрешностью определения данных параметров. Кроме этого, критерий K_{RS} не учитывает особенностей условий формирования ВМ в пресс-форме.

Результаты проведенных исследований приведены в табл. 5.

В настоящее время на основе данных табл. 2 и 5 разработаны и внедрены в производство отливок особо ответственного назначения модельные составы типа КС-111 (ТУ У 24.1-31183073-004:2005) класса 41В1 и улучшенный по органолептическим свойствам модельный состав КС-102 (ТУ У 24.1-31183073-004-2002) класса 31В1.

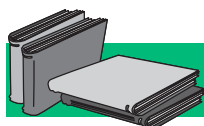
Таблица 4

Методики определения параметров

Параметр, критерий	Методики определения
Коэффициент линейной усадки ВМ	Разница между длиной ВМ и рабочей полостью пресс-формы [4]
Критерий размерной равноточности ВМ	
Коэффициент термического линейного расширения модельного состава	Изменение длины ВМ при нагреве [4]
Теплоустойчивость модельного состава	Прогиб образца, лежащего на двух опорах [2]
Предел прочности при статическом изгибе модельного состава при 18-20 °С	Нагрузка разрушения образца, лежащего на двух опорах [2]
Склонность к короблению ВМ	Стрела прогиба ВМ балочного типа несимметричного таврового сечения [6]
Текучесть модельного состава	По длине заполненной части пресс-формы пробы кольцевого типа [2]
Скорость растворения (физического, химического) модельного состава в растворителе огнеупорной суспензии	По любой методике, приняв за единицу относительную скорость растворения парафина
Критерий склонности модельного состава к образованию утяжин в ВМ	Глубина утяжины на ВМ [2]
Содержание аморфной фазы в структуре модельного состава	Взвешивание ингредиентов модельного состава
Содержание наполнителя в модельном составе	

Значения параметров модельного состава

Параметр, критерий	Величина
Коэффициент линейной усадки ($\alpha_{МС}^{(40)}$), %	0,98 ± 0,05
$K_{р}$, % (не более)	0,72
Коэффициент термического линейного расширения при условно свободной усадке ВМ, град ⁻¹ (не более)	0,000230
$K_{с}$, (не более)	0,5
K_{KR} , (не менее)	0,73
K_T , м ² ·град/с (не менее)	(2...3) · 10 ⁻⁸
Теплоустойчивость, °С	40...42
Предел прочности при статическом изгибе при 19 ± 1 °С, МПа (не менее)	4,5
Стрела прогиба ВМ балочного типа несимметричного таврового сечения, мм (не более)	0,4
Текучесть, мм (не менее)	150
Глубина утяжины в ВМ, мм	0
Массовое содержание аморфной фазы в структуре модельного состава, % (не менее)	50
Содержание наполнителя в модельном составе, % по объему	0



ЛИТЕРАТУРА

1. Репях С. И. О критерии размерной равноточности материала отливок // Литейн. пр-во. – 2010. – № 3. – С. 14-16.
2. Репях С. И. О равноточности размеров отливок // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2009. – № 1. – С. 60-65.
3. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.
4. Репях С. И. К вопросу о короблении отливок // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2009. – № 1. – С. 100-102.
5. Репях С. И. Коробление литых моделей отливок в литье по выплавляемым моделям // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2009. – № 6. – С. 40-44.
6. Репях С. И. О склонности модельных материалов к короблению и образованию трещин в выплавляемых моделях // Литейн. пр-во. – 2009. – № 8. – С. 35-40.
7. Репях С. И. Критерий склонности модельных составов к короблению моделей отливок в литье по выплавляемым моделям // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2009. – № 4. – С. 38-41.
8. Репях С. И. Исследование кинетики коробления литых моделей отливок в литье по выплавляемым моделям // Литейн. пр-во. – 2009. – № 1. – С. 34-37.
9. Репях С. И. Поверхностные явления в формообразовании литья по выплавляемым моделям // Литье Украины. – 2009. – № 12. – С. 13-22; – 2010. – № 1 – С. 20-25.
10. Репях С. И. Критерий образования утяжин в моделях отливок в литье по выплавляемым моделям // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2008. – № 4. – С. 32-34.
11. Тростянская Е. Б. К вопросу о методах изготовления модельных масс // Методы получения отливок повышенной точности – М.: Машгиз, 1958. – С. 10-12.
12. Репях С. И. Влияние параметров производства на размерную точность выплавляемых моделей отливок // Литейн. пр-во. – 2009. – № 7. – С. 34-36.

Анотація

Реп'ях С. І.

Вимоги до модельних складів виливків особливо відповідального призначення

Наведено вимоги до модельних складів, які використовуються у виробництві деталей особливо відповідального призначення методом лиття по моделях, що виплавляються.

Ключові слова

склад модельний, усадка, жолоблення, утяжина, точність, модель

Requirements to the cereous model alloys for the exact casting of the special setting are given.

УДК 669.184.046.5

С. Г. Мельник

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

О влиянии сульфидной емкости рафинировочных шлаков на эффективность десульфурации конвертерной стали

Выполнена оценка эффективности рафинирования трубной стали марки 10Г2ФБ активными шлаковыми смесями на основе СаО и силикокальцием в ковше с использованием оптической основности шлаков и их сульфидной емкости по концепции Даффи-Ингрэма. Результаты теоретических и экспериментальных исследований внепечной обработки стали в большегрузных 350-тонных сталеразливочных ковшах показывают возрастание (с 30 до 42) фактического коэффициента распределения серы между шлаковой и металлической фазами при увеличении сульфидной емкости рафинировочного шлака от 0,01 до 0,05. Результаты исследований использованы для разработки технологии внепечного рафинирования трубных сталей улучшенного качества с повышенными требованиями по содержанию неметаллических включений.

Ключевые слова: рафинировочный шлак, трубная сталь, сульфидная емкость, оптическая основность, десульфурация, эффективность

Конкурентоспособность стали на мировых рынках металла в немалой степени определяется содержанием в ней вредных примесей, в первую очередь серы. При производстве качественных сталей в последнее время достаточно широко применяют ковшовое (или внепечное), рафинирование металла активными шлаковыми смесями на основе извести СаО. Сера как поверхностно-активный элемент в жидкой стали влияет на физико-химические процессы, сопровождающие окисление примесей металлической ванны, воздействуя на легирование и микролегирование стали. В свою очередь, результаты этих процессов оказывают влияние на служебные свойства стали. Кроме того, сера в виде соединений типа FeS, MnS участвует и в образовании неметаллических включений (НВ) в металле, оказывая также влияние на свойства стали.

С целью снижения концентрации серы в стали разработаны и применяются десятки способов внепечной десульфурации металлов. Наиболее широкое применение нашли полиреагентные способы десульфурации, в частности обработка стали активными шлаками, формируемыми в сталеразливочном

ковше с помощью твердой шлакообразующей смеси из извести и плавикового шпата ($\text{CaO} + \text{CaF}_2$), алюминия и кальция. В то же время, рафинирующая способность активных шлаков не всегда обеспечивает требуемую эффективность десульфурации стали. Так, по данным [1, 2], эффективность рафинирования конвертерной стали не превышает 12 % (а в ряде случаев 10) от термодинамически допустимой. Это возможно в результате изменений физико-химических свойств как металлической, так и шлаковой, а возможно, и газовой фаз в процессе производства стали.

Авторы [3] проводят исследования в направлении прогнозирования физико-химических свойств шлаковых расплавов, исходя из трактовки жидких шлаков как ассоциированных жидкостей с учетом представлений об ассоциации и теории ассоциированных растворов. В числе других процессов ковшовой обработки они рассматривают гетерофазный процесс десульфурации со стороны металлического расплава в рамках формализма термодинамических параметров Вагнера (в сочетании с процессом окисления металла с участием шлакового расплава).