

УДК 627.771.07

Матвеева М. О., Климович Б. В.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВОВ СМЕСЕЙ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ
ВСТАВОК КРЫШЕК ИЗЛОЖНИЦ ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЛИТЬЕ
ВАЛКОВ-РОЛИКОВ**

Интенсификация производственных процессов и повышение требований к технологичности производства литых изделий требуют создания новых материалов и способов изготовления из них деталей. К таким отливкам относятся валы и вальцы для металлургической, горнорудной, мукомольной и химической промышленности. Особенностью структуры и свойств как стационарных, так и центробежнолитых валков из белых и половинчатых чугунов является неравномерность структуры и свойств материала по глубине рабочего слоя [1, 2, 3]. При этом значительно большее различие твердости при близком химическом составе наблюдается при центробежном литье, что обусловлено кристаллизацией расплава под действием гравитационных сил.

В условиях Днепропетровского завода прокатных валков (ДЗПВ) были проведены исследования изменения твердости типовых биметаллических заготовок размером $\varnothing 315 \times 122$ мм исполнений ТПХНЦ-51, ТПХНЦ-60. Результаты изменения твердости в продольном сечении приведены на рис.1.

Для всех исследованных биметаллических заготовок с рабочим слоем толщиной 20...50 мм характерной является повышенная на 4...10 ед. Шора твердость на расстоянии 10...20 мм и на 2...4 ед. Шора на расстоянии 25...50 мм от литой поверхности по глубине рабочего слоя. Повышенная твердость отмечается в слоях заготовок на расстоянии 150...160 мм от литых торцевых поверхностей (охлаждающий эффект торцов). Неоднородность по структуре и твердости по длине заготовок снижает их качество и требует увеличения припусков с торцов. Валки, вырезаемые из торцевых концов заготовки, при эксплуатации будут иметь различный износ рабочих поверхностей. Установлено, что «охлаждающий эффект торцов» обусловлен влиянием теплофизических свойств материалов, применяемых для футеровки торцевых крышек изложниц.

Уменьшение перепада твердости в поперечном и продольном сечении заготовок является важной задачей. Ее решение определяется многими факторами, это разработка сплавов с пониженной чувствительностью к скорости охлаждения [4], оптимизация температурно-временные параметров плавки и заливки [5, 6], теплофизических параметров многослойной литейной формы, а также исследование физико-химических и тепловых параметров защитных покрытий [7, 8] и смесей для футеровки торцевых крышек изложницы.

Для получения более однородной по структуре и твердости заготовки необходимо применять для торцевых крышек изложницы вставные элементы из материалов с низкой теплопроводностью, что требует дополнительных исследований. Разработана конструкция торцевых крышек с вставными элементами (рис. 2), которая позволяет повысить точность дозирования металла [9]. В центре корпуса торцевой крышки по толщине футеровки расположена кольцевая вставка с наружным диаметром, составляющим 0,9...1,0 внутреннего диаметра отливки. В процессе заливки металла в изложницу имеется возможность контролировать визуально его уровень, сравнивая диаметр отливки в данный момент времени с постоянным диаметром вставки. Вставка отчетливо наблюдается на фоне остальной футеровки крышки вследствие того, что она обладает при нагреве светимостью, отличной от светимости футеровки.

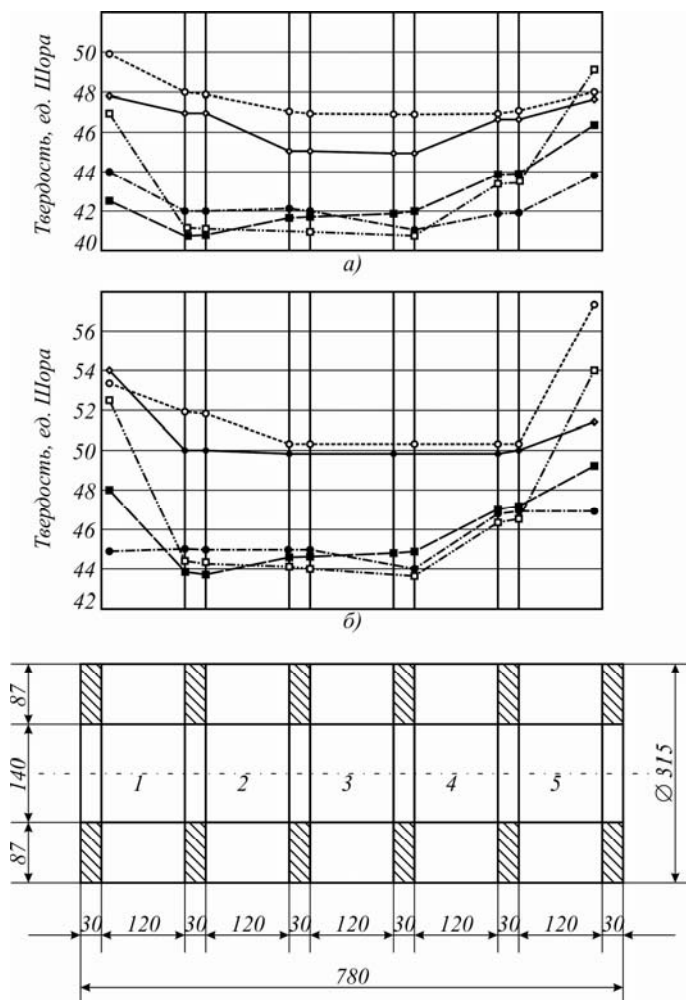


Рис. 1. Результаты исследований изменения твердости в продольном сечении заготовки: а – на глубине 10 мм; б – на глубине 20 мм

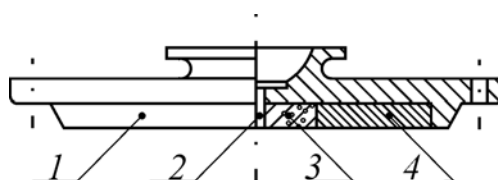


Рис. 2. Торцевая крышка центробежной изложницы: 1 – корпус; 2 – отверстие для выхода газов; 3 – кольцевая вставка; 4 – футеровка

В 1988–1989-х годах в Metallургической академии (Днепропетровск) кафедрой литейного производства были проведены исследования по определению типа и состава смесей для футеровки торцевых крышек. Рассматривали набивную магнезитовую смесь на жидком стекле, углеродное волокно, изделия из глиноземистых масс Северского огнеупорного завода (Донецкая область), шамотный огнеупорный кирпич и др. Однако положительных результатов не было получено из-за приваривания торцов заготовок и образования продольных трещин. Позже при отработке технологии центробежного литья валков на МЦВР-1 использовали торцевые вставки, вырезанные из графитовых электродов. Основным недостатком таких вставок являлась большая трудоемкость их изготовления – вырезкой на токарных станках, а также высокая стоимость. Кроме того, такие вставки обладали повышенной теплопроводностью, что приводило к образованию отбеленного слоя глубиной 30...50 мм с торцевой поверхности литых заготовок на всю толщину рабочего слоя и внутренней зоны заготовок.

Наиболее технологичными из испытанных при отливке роликов диаметром 620 мм на ДЗПВ оказались вставки из графито-шамотных смесей, технология изготовления которых была отработана в условиях Константиновского огнеупорного завода (КОЗ). Стойкость таких вставок после обжига общей продолжительностью 324 часа (13,5 суток) составила 12...15 циклов и они обеспечили получение отливок с заданными параметрами качества.

С 1993 года централизованная поставка вставок с КОЗ была прекращена, а также появилась необходимость производства заготовок валков диаметром более 400 мм, поэтому возникла потребность в разработке технологии изготовления вставок в условиях ДЗПВ.

Из анализа литературных данных как наиболее перспективные были выделены: жаростойкие бетоны, огнеупорная масса для футеровки прибыльных надставок и сталеразливочных ковшей, бетонные смеси на жидком стекле, где основным наполнителем является шамот, а в качестве тонкомолотой добавки применяется кварцит, дистенсиллиманитовый концентрат, глиноземистый цемент и шлам электрокорунда, глиноземистый цемент и дистенсиллиманитовый концентрат.

Целью настоящих исследований была разработка составов смесей и технологии изготовления из них вставок торцевых крышек для широкой номенклатуры центробежнолитых заготовок диаметром от 430 до 556 мм.

Поставлены следующие задачи:

- обобщение данных о физико-механических и теплотехнических свойствах материалов и смесей, которые можно использовать для вставок торцевых крышек изложниц;
- подбор составов с учетом использования недефицитных огнеупорных компонентов;
- лабораторные исследования составов и их технологических свойств;
- промышленные испытания разработанных смесей;
- отработка технологии приготовления смесей и изготовления из них вставок;
- изготовление оснастки и опытных партий вставок;
- отливка опытной партии валков.

Твердость материала валков определяли по глубине рабочего слоя по ГОСТ 24805-81 на темплетях отобранных при механической обработке.

Опытные образцы изготавливали уплотнением вибрацией в металлических формах. Через 4...5 часов их освобождали от форм и сутки выдерживали на воздухе с последующей сушкой в течение 32 часов при 100...110 °С.

Для определения предела прочности огнеупорных смесей испытывали образцы в виде куба с ребром 100 мм или цилиндра высотой 50 мм и диаметром 55 мм. Образцы с дефектами не испытывали. Площадь поперечного сечения образцов на которые передается давление, измеряли и высчитывали с точностью 0,1 см². Перед испытанием образцы высушивали до постоянной массы и охлаждали до комнатной температуры.

Пресс для испытания на сжатие должен удовлетворять следующим условиям: развивать необходимое давление со скоростью 0,2...2,0 МПа/с; возможность полного зажатия образца между плитами прессы. Нажимные плиты должны иметь шероховатость $R_z \leq 20$ мкм и твердость \geq HRC 45. Рекомендуются между образцом и плитами помещать картонные прокладки.

Образцы нагружают до полного разрушения. Предел прочности вычисляют по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{A}, \text{ МПа} \quad (1)$$

где P – разрушающая нагрузка, МН;

A – площадь сечения образца, м².

Точность определения по данной методике составляет ± 10 %.

В основу выбора состава смесей для вставок положено обеспечение возможно меньшей теплопроводности. Теплопроводность исследованных материалов приведена на рис. 3. Лучшим является шамот, близким к нему – диас, который производится из кварцита. Однако

кварц, как и кварцит, имеет наибольшее линейное расширение из всех наполнителей (рис. 4). Применительно к условиям ДЗПВ использование кварцита в качестве наполнителя для смесей является предпочтительным. Это обусловлено наличием его в действующем производстве.

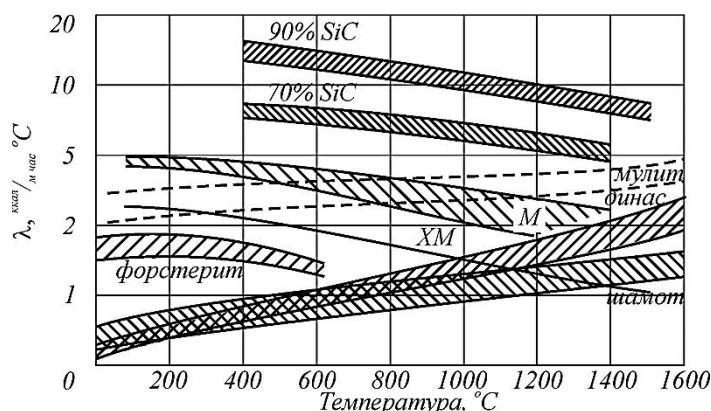


Рис. 3. Теплопроводность исследованных материалов

Важным параметром при выборе состава смесей для вставок является несмачиваемость материала жидким металлом и благодаря этому предотвращается пригар торцов заготовок. Смачиваемость формовочных смесей зависит от содержания в них углеродсодержащей фракции. В качестве такой фракции применяли графит серебристый и черный, карбид кремния. Среди исследованных материалов карбид кремния является самым дорогим и дефицитным и имеет наибольшую теплопроводность (рис. 3). Поэтому в дальнейших исследованиях применяли графит черный и серебристый.

В лабораторных исследованиях для изготовления вставок крышек изложниц были опробованы следующие технологии приготовления смесей.

Наливные массы, состава (% по массе): кварцевый песок – 50, огнеупорная глина – 7, отходы карбида кремния – 20, графит – 20, ФХШ – 3, жидкое стекло (сверх 100 %) – 20...22. Плотностью 1,37...1,38 г/см³. При использовании этой массы образуется значительный пригар на центробежнолитых заготовках. Кроме того, для ее приготовления требуется специальное оборудование. Применение такой технологии признано нецелесообразным.

Наливные массы с использованием в качестве связующего ортофосфорной кислоты, состава (% по массе): шамот дробленый – 50, огнеупорная глина – 15, графит черный – 35, ортофосфорная кислота (сверх 100 %) – 15. Смесь технологична и перспективна. Ее применение затруднено высокой стоимостью и дефицитностью ортофосфорной кислоты.

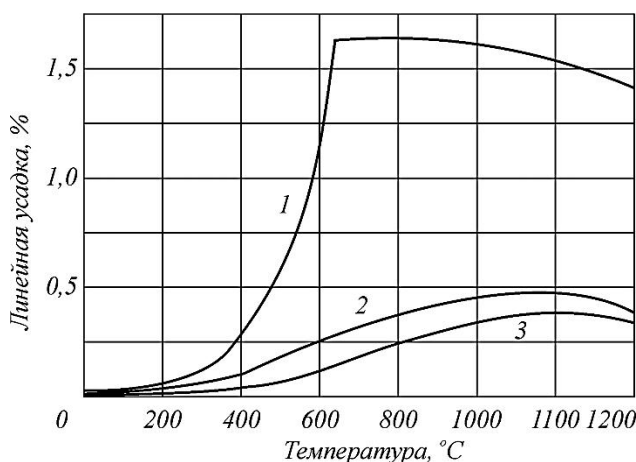


Рис. 4. Зависимость линейной усадки наполнителей от температуры: 1 – кварц; 2 – шамот; 3 – циркон

Бетонная технология с использованием в качестве связующего глиноземистого цемента, состава (% по массе): шамотный щебень (фракция 10...155 мм) – 50, шамотный песок (фракция 0,14...5 мм) – 25, глиноземистый цемент – 25, жидкое стекло (сверх 100 %), $\rho = 1,37...1,38 \text{ г/см}^3$ – 17. Смесь широко применяется в металлургии, технологична. В настоящее время ее применение затруднено из-за дефицитности глиноземистого цемента.

Набивная масса на борной кислоте, состав (% по массе): кварцевый песок – 20, шамот – 30, огнеупорная глина – 10, отходы карбида кремния – 40, борная кислота (сверх 100 %) – 1,5. Смесь нетехнологична, прочность набирает только после высокотемпературного отжига (свыше 1400 °С, длительностью более 12 суток).

«Бетонная» технология с использованием в качестве связующего жидкого стекла, состава (% по массе): шамот – 62,5; дистенсиллиманит – 17,8; ФХШ – 1,78; жидкое стекло ($\rho = 1,17 \text{ г/см}^3$) – 17,92. Смесь самая технологичная, не требующая специального оборудования и дефицитных компонентов.

Для дальнейших исследований выбрана бетонная технология изготовления вставок с использованием в качестве связующего жидкого стекла. Определяли предел прочности при сжатии на стандартных образцах после термообработки при 110 °С. Составы смесей и результаты испытаний приведены в табл. 1. Состав 1 имел малую прочность и снят с промышленных испытаний. Для нахождения оптимального соотношения компонентов оптимизировали составы 2 и 3 методом полного факторного эксперимента. Оптимальные составы жаростойких бетонов приведены в табл. 2., результаты их испытаний на прочность и термическую стойкость в табл. 3.

Таблица 1

Составы опытных смесей для изготовления вставок крышек изложниц

Наименование материалов	Состав, % по массе		
	1	2	3
шамот	-	62,5	-
дистенсиллиманит	-	17,8	17,9
графит черный	20,0	-	-
карборунд	20,0	-	-
глина огнеупорная	7,0	-	5,0
песок кварцевый	50,0	-	-
маршалит	-	-	26,8
кварцит	-	-	30,7
ФХШ	3,0	1,8	1,8
жидкое стекло $\rho = 1,17 \text{ г/см}^3$	сверх 100 %	17,9	17,8
предел прочности при сжатии, кгс	9...12	42...46	54...56

Таблица 2

Оптимальные составы жаростойких бетонов

Номер состава	Расход материалов, кг/м ³		Плотность жидкого стекла, г/см ³
	тонкомолотая добавка	жидкое стекло	
1	400	365	1,37
2	520	290	1,30
3	700	310	1,32

Для промышленных испытаний была изготовлена опытная партия вставок крышек изложниц. Составы смесей приведены в табл. 4. Сушку вставок проводили в цеховых сушилах по следующему режиму: плавный подъем температуры от 15...30 °С до 105...150 °С в течение

5 часов, выдержка при 105...150 °С – 5...7 часов, охлаждение с печью. Допускается охлаждение торцевых вставок в стопке на воздухе. Общая продолжительность цикла 16...20 часов, что в 9 раз меньше, чем при промышленном производстве обжиговым способом на КОЗ.

Таблица 3

Прочность и термическая стойкость жаростойких бетонов

№ состава	Предел прочности при сжатии, кгс/см ²		Термическая стойкость (теплосмены)		
	высушенных при 110 °С	после одной теплосмены	до появления волосяных трещин	до появления открытых трещин	до разрушения
1	224	311	8	32...34	40*
2	216	315	6	28...29	
3	256	330	4...5	18...19	25...27

*После 40 теплосмен образцы не разрушились.

Таблица 4

Составы смесей для изготовления вставок крышек изложниц

Наименование	Состав, % по массе	
	1	2
шамот фракция 0,14 мм	21,8	-
фракция 5,0 мм	35,7	-
дистенсиллиманит	17,8	17,8
графит	5,0	5,0
маршалит	-	26,8
кварцит	-	30,7
ФХШ	1,8	1,8
жидкое стекло(плотностью 1,37 г/см ³)	17,9	17,9

В табл. 5 приведены сопоставительные данные о качестве центробежнолитых заготовок Ø455 мм, отлитых с использованием опытных вставок торцевых крышек изложниц из разработанных типов смесей для замены, ранее применявшихся графитошамотных промышленного производства КОЗ (44 заготовки), в тот же период было отлито 42 центробежнолитые заготовки текущего производства.

Таблица 5

Обобщенные данные о качестве центробежнолитых роликов, подверженных воздействию «охлаждающего эффекта торцов» при использовании опытных торцевых крышек и крышек текущего производства

Параметры	Опытные, Ø 455 (ТПХНЦ – 51, 60)		Текущего производства, Ø 455 (ТПХНЦ – 51, 60)	
	шт.	%	шт.	%
Количество роликов, шт.	44	100,0	42	100,0
Продольные трещины	2	4,5	12	28,6
Несоответствие размерам	2	4,5	-	-
Низкая твердость	4	9,2	-	-
Высокая твердость	-	-	19	45,2
Нормальная твердость	36	81,8	11	26,2

С применением опытных вставок получено 82 % годных роликов исполнения ТПХНЦ-51 и ТПХНЦ-60. При этом 9 % имели низкую твердость (не соответствующую действующим техническим условиям) и 9 % заготовок – продольные трещины и несоответствие

размеров. Заготовки текущего производства аналогичного исполнения отливали с применением комбинированных вставок (графито-шамотная вставка и наружное чугунное кольцо), получено годными по твердости – 26 % изделий. Не соответствовали необходимой твердости 45 % роликов и 27 % – получены с трещинами.

Разработанный состав смесей для вставок крышек обеспечивает значительное сокращение энерго- и материалозатрат в сопоставлении с промышленным производством таких вставок для изложниц в условиях КОЗ. Так в условиях огнеупорного завода продолжительность цикла изготовления графито-шамотных вставок составляла 13,5 суток с обжигом при температуре 1100 °С. Продолжительность цикла изготовления вставок торцевых крышек для центробежнолитых заготовок в условиях ДЗПВ – 35...39 часов, что в 9 раз быстрее. При этом опытные вставки изготавливались из недефицитных для предприятия материалов, вместо высокотемпературного отжига по разработанной технологии качественные вставки получали при температуре 105...150 °С в течение 16...20 часов. Также разработанная технология обеспечивает качество центробежнолитых заготовок.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований разработаны и внедрены: новая конструкция торцевых крышек изложниц; составы смесей для футеровки вставок крышек изложниц, которые позволили уменьшить перепад твердости в продольном сечении заготовок.

Использование новых типов торцевых вставок обеспечивает качество центробежнолитых заготовок исполнений ТПХНЦ-51 и ТПХНЦ-60 аналогичное, получаемому при их литье со вставками из графито-шамотных смесей.

Преимуществом технологии изготовления новых типов торцевых вставок является ее ресурсо- и энергосбережение: используются недефицитные для предприятия материалы; продолжительность и энергоемкость технологического цикла производства сокращается в 9 раз по сравнению с технологией Константиновского огнеупорного завода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеева М. О. Графитизирующее внепечное модифицирование при центробежном литье валков / М. О. Матвеева, Г. Е. Белай // Теория и практика металлургии. – 1998. – № 4. – С. 39–40.
2. Особенности комплексного легирования валковых чугунов титаном, азотом, хромом, ванадием и марганцем : (Труды Третьего международного конгресса) [CD-ROM] / М. О. Матвеева, О. М. Шаповалова // Машиностроительные технологии. – Болгария : София, 2001. – С. 105–110.
3. Матвеева М. О. Исследования модифицирования белых валковых чугунов карбонитридными включениями / М. О. Матвеева // Теория и практика металлургии. – 2003. – № 2. – С. 41–47.
4. Матвеева М. О. Повышение качества валковых чугунов легированием ванадием, титаном и азотом / М. О. Матвеева, Б. В. Климович, В. В. Климович // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве : материалы III международной научно-технической конференции. – Краматорск : ДГМА, 2011. – С. 134–136.
5. Матвеева М. О. Исследование влияния параметров плавки на свойства металла рабочего слоя валков / М. О. Матвеева, Б. В. Климович, В. В. Климович // Литье 2011 : материалы VII международной научно-практической конференции. – Запорожье, 2011. – С. 130–132.
6. Матвеева М. О. Разработка чугунов с повышенными эксплуатационными свойствами / М. О. Матвеева // Литейное производство. – 2007. – № 9. – С. 2–5.
7. Матвеева М. О. Применение синтетических полимеров в качестве связующих литейных покрытий / М. О. Матвеева // Теория и практика металлургии. – 2003. – № 5–6. – С. 60–65.
8. Матвеева М. О. Защитные покрытия на основе синтетических связующих для центробежного литья крупнобаритных чугунных заготовок / М. О. Матвеева // Теория и практика металлургии. – 2004. – № 5. – С. 14–19.
9. Пол. решение по заявке № 5057657/02 СССР, В 22 D 13/00. Торцевая крышка центробежной изложницы / Белай Г. Е., Матвеева М. О., Ждакаев Г. П. и др. – № 5057657/02; заявлено 04.08.92.