

УДК 621.74.  
742.48

A.S. Praded  
R.O. Malanin  
M.V. Skakun  
A.V. Chikunov

Аннотация

Summary

## Выбор и адаптация «альфа-сет»-связующих для увеличения объема использования регенерированного песка на примере ООО «Староуткинский литейный завод»

Choice and adaptation of “alpha-set” binders for increasing volume of using regenerating sand the case of an enterprise LLC “Staroutkinsk Foundry”

**А.С. Прадед, Р.О. Маланин, М.В. Скакун, А.В. Чикунов**

Приведена информация об «альфа-сет» связующих, разрабатываемых ООО «Уралхимпласт-Хюттенес Альбертус». Проведены исследования смесей на разных марках связующих, оценка качества регенерированного песка, результаты внедрения и экономический эффект.

### Ключевые слова

«Альфа-сет» связующие, регенерированный песок, прочность на разрыв, исследования песков.

There are information about “alpha-set” binders engineering by LLC “Uralchimplast-Huttene Albertus”. Researches of mixtures on various binders marks, quality assessment of regenerated sand, the implementation results and economic effect.

### Key words

“Alpha-set” binder, regenerating sand, strength, sand research.

На протяжении последних двух десятилетий в литейной отрасли произошли большие изменения в процессах формообразования. На большинстве предприятий единичного, мелко- и среднесерийного производства на смену ПГС и ЖСС смесям пришла технология ХТС, обеспечивающая массу технологических преимуществ над прежними технологиями, включая гибкость и универсальность применения, возможность сокращения первичных инвестиций в оборудование, снижение трудоемкости операций, снижение количества изломов и подрывов форм/стержней, брака по засорам,

улучшение качества поверхности отливок, выбиваемости стержней (в случае перехода с ЖСС) и др.

Изначально, выбор варианта ХТС-технологии осуществлялся исключительно на основании рекомендаций западноевропейских поставщиков оборудования, первых пришедших на Российский рынок (IMF, FAT, OMEGA). Рекомендации свои делились к следующему: для корпусных чугунных отливок, а также отливок из сплавов на основе алюминия и магния – «пеп-сет» или фурановые связующие, для остальных случаев – фенольно-щелочные связующие («альфа-сет»). Редко

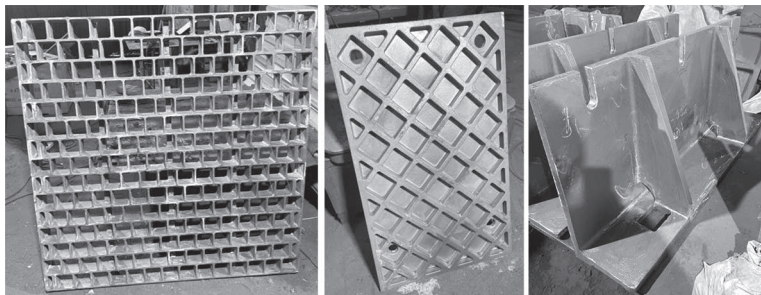


Рис. 1. Продукция, изготавливаемая СТЛЗ

(по запросам заказчика) в цехах, расположенных в жилой городской застройке, использовали жидкостекольный ХТС-процесс с жидкими эфирными отвердителями. Поэтому, учитывая специфику нашей страны по наиболее востребованным направлениям промышленности, включая нефтегазовую, горнодобывающую, металлургическую отрасли и машиностроение, основным ХТС-процессом стал «альфа-сет»-процесс. Сегодня он по объемам реализации занимает > 70% общего рынка ХТС в России. Большому распространению «альфа-сет» способствует тот фактор, что основное сырье для него – фенол – массово выпускается отечественными нефтеперерабатывающими предприятиями. Цена «альфа-сет»-связующих в разы ниже, чем фурановых. «Альфа-сет»-процесс стал массовым продуктом, и конкуренция между локальными производителями растет с каждым годом.

Ведущий производитель «альфа-сет»-связующих в России – ПАО «Уралхимпласт», разработку и реализацию продукции, техническую поддержку клиентов для которого осуществляет ООО «Уралхимпласт-Хюттенес Альбертус».

Разработано несколько рецептов связующих «альфа-сет».

Варианты составов на калиевой или натриевой щелочи и их промежуточные гибриды отличаются друг от друга прочностными характеристиками, реактивностью, термостойкостью, экологичностью и ценой. Как правило, при первичном запуске участка ХТС с «альфа-сет»-процессом заказчик останавливается на среднем по характеристикам и цене варианте, но в последствии определяется с особыми требованиями, в которых все чаще звучит требование по максимальному использованию механического регенерата без потери прочностных характеристик форм.

Аналогичную задачу в начале 2023 г. поставило предприятие ООО «Староуткинский литейный завод» (СТЛЗ) перед ООО «Уралхимпласт-Хюттенес Альбертус» (УХП-ХА). Вначале среднее расчетное соотношение *свежий песок/регенерат* составляло 40/60. Но, с учетом наблюдающегося существенного удорожания песка, СТЛЗ поставил задачу – довести это соотношение до 25/75, что возможно достичь только при работе с наполнительной смесью на 100% регенерате. Учитывая, что предприятие использует безопасную ХТС-формовку, исходная система «альфа-сет» при формовке на 100% регенерате

не обеспечивала необходимые манипуляционные значения прочности без увеличения расхода связующих.

СТЛЗ выпускает изделия из жаропрочных, нержавеющих и углеродистых сталей. Отливки из легированных сталей – поддоны, решетки, борты, подставки и другая оснастка для термических печей, а из углеродистых с механической обработкой – для машиностроения и нефтехимической отрасли (рис. 1). Формовка осуществляется на линии «ОМЕГА» (Великобритания) с частичной автоматизацией. Имеется возможность работы на свежем кварцевом песке, регенерате и их смеси в любой пропорции. Линия оснащена выбивной решеткой, системами механической регенерации, пылеудаления и пневмотранспортом. Объем производства – 70...80 т отливок в месяц. Масса отливок от 10 кг до 2,5 т. Средняя металлоемкость формы ~500 кг.

Техническая служба предприятия периодически отбирает пробы регенерированного песка для проверки его общего состояния в формовочной системе и отдает для исследования в лабораторию УХП-ХА. С момента запуска линии формовка велась с использованием универсальной (гибридной) смолы «Альфабонд» и отвердителя серии Т-033. Результаты исследований свежего песка и регенерата – в табл. 1.

## Методы испытаний

Гранулометрический анализ проводится на вибросите в комплексе с программным обеспечением (ГОСТ 29234.3). Сита перед каждым анализом очищаются в ультразвуковой

ванне в течение 15 мин, а затем высушиваются в шкафу при 105...110°C в течение 1 ч.

Потери при прокаливании (ППП) определяются с использованием муфельной печи (ГОСТ 26234.13-91), массовая доля остаточной щелочи в песке в пересчете на ион калия – при помощи иономера (методика УХП-ХА), рН водной вытяжки – на иономере (ГОСТ 29234.6-91), массовая доля глинистой составляющей свежего песка – по ГОСТ 29234.1-91, предел прочности стандартных образцов на разрыв – на разрывной машине, оснащенной программным обеспечением.

Уплотнение образцов на лабораторном вибростоле гарантирует воспроизводимость подготовительных условий.

Образцы изготавливаются и испытываются при  $T_{\text{возд}} = 20...23^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{песка}} = 22...23^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха 30...50%.

Установлено, что показатели массовой доли остаточной щелочи в пересчете на ион калия (остаточная щелочность) и ППП находятся в крайней зоне допустимых значений, что значительно снижает реакционную способность связующих и прочностные характеристики смесей (табл. 2). Прочность на разрыв через 1 ч – 0,07 МПа

Таблица 1

Показатели	Свежий песок	Регенерированный песок	Комментарий
рН водной вытяжки	6,6	10,8	Щелочной
Массовая доля остаточной щелочи в пересчете на ион калия, %	–	0,14	Не более 0,15*
ППП, %	–	1,98	Для регенерированного песка не более 2,0*
Коэффициент однородности	81	75	Соответствует марке O <sub>2</sub>
Содержание мелкой фракции, %	0,59	0,63	Рекомендуется <1,0
Массовая доля глинистой составляющей, %	0,21	–	1К для свежего песка
Средний диаметр частиц, мм	0,22	0,25	025 фракция

\*На основании накопленного опыта УХП-ХА.

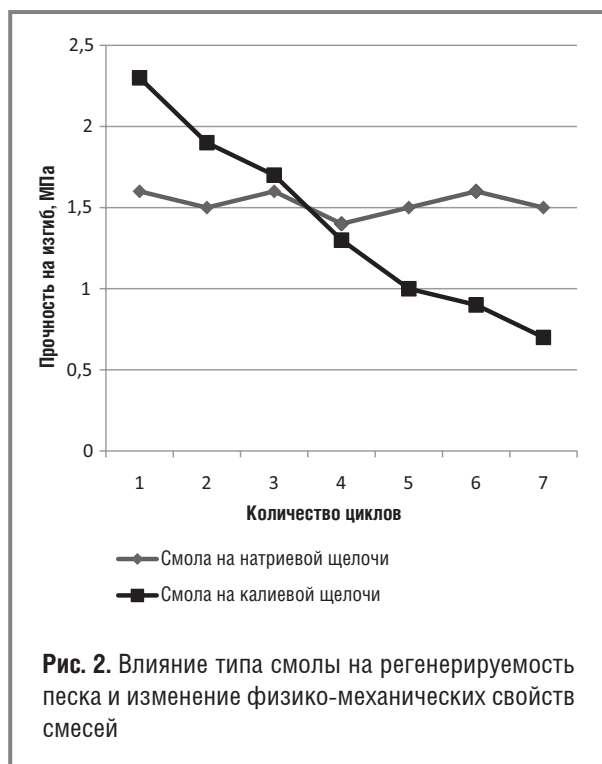
– недостаточна для обеспечения манипуляций с безопочной формой. На практике приходится делать лишний «буферный» слой смесью на 100%-ном свежем песке вокруг модели для предотвращения изломов при протяжке и кантовке, а также увеличивать содержание смолы и отвердителя в смесях для сложных и хрупких форм.

СТЛЗ использует систему механической регенерации

– оттирку полимеров связующего с зерен песка. Смесь на основе «альфа-сет»-связующего трудно регенерируема: отвержденный феноло-формальдегидный полимер обладает пластичностью, поэтому практически не оттирается и не скалывается с поверхности зерен песка. Высокая остаточная щелочность требует повышенного расхода отвердителя, иначе процесс отверждения замедляется,

Таблица 2

Смола «Альфабонд», %	Отвердитель Т-033, %	Динамика отверждения, мин		Предел прочности на разрыв, МПа, через			
		Живучесть, мин	Полное отверждение, мин	1 ч	2 ч	4 ч	24 ч
100% свежий песок (облицовочная и стержневая смеси)							
1,5	25	7,0	21	0,22	0,34	0,48	0,66
100% регенерированный песок (наполнительная смесь)							
1,7	25	8,5	30	0,07	0,20	0,29	0,30



а прочность смеси снижается. Более того, щелочная составляющая смолы способна спекаться с поверхностью песка во время заливки. В результате спекания на поверхности песка образуются силикаты калия и/или натрия. Силикаты прочно связаны с поверхностью зерен и полностью не удаляются во время регенерации. Таким образом, с каждым оборотом смеси содержание остаточной щелочи и отвержденного полимера в регенерате увеличивается. Образованные силикаты снижают термостойкость песка и в случае формообразования без использования облицовочного слоя являются главной причиной пригара на отливках. Если полностью обновить регенерированный песок, через определенное время вновь произойдет накопление вредных примесей.

Одним из решений для облегчения процесса регенерации и снижения накопления остаточной

щелочи является использование смол на основе натриевой щелочи. Силикат натрия – более термостоек, так как имеет высокую температуру плавления, а значит поверхность песка меньше загрязняется плавленным силикатом, и песок в процессе заливки меньше спекается. Более того, смола на натриевой щелочи обеспечивает стабильный уровень прочности, вне зависимости от количества циклов регенерации. Специалисты Huettenes-Albertus (Германия) исследовали влияние разных марок смол на количество циклов регенерации и установили, что смолы на основе калиевой щелочи дают первоначально более высокие значения прочности, но с увеличением количества циклов оборота регенерированного песка прочность на изгиб снижается. Смола на натриевой щелочи дает постоянно одинаковую прочность (рис. 2).

Используемая СТЛЗ смола «Альфабонд» относится к гибридной, т.е. содержит натриевую и калиевую щелочи и в условиях определенных технологических параметров приводит к накоплению щелочных примесей в регенерированном песке.

Под требования технического задания и текущих показателей регенерированного песка подобрана смола на основе натриевой щелочи «Альфабонд 8531» (табл. 3).

Прочностные показатели на том же образце регенерированного песка повысились на 0,02...0,03 МПа. Основываясь на положительной динамике лабораторных исследований, СТЛЗ перешел на работу с использованием смолы «Альфабонд 8531» для изготовления смесей на свежем и регенерированном песках. Имеющаяся в обороте регенерированная смесь обновлялась согласно действующей технологии – за счет стержней и облицовочного слоя форм. После 6 мес. работы на смоле «Альфабонд 8531» произведен повторный отбор регенерированного песка для исследований. В среднем отобранный песок прошел 3 цикла регенерации (табл. 4).

Таблица 3

Смола «Альфабонд 8531», %	Отвердитель Т-033, %	Динамика отверждения, мин		Предел прочности на разрыв, МПа, через			
		Живучесть, мин	Полное отверждение, мин	1 ч	2 ч	4 ч	24 ч
100% регенерированный песок (март 2023 г.)							
1,7	25	9,0	29	0,1	0,22	0,31	0,32

Таблица 4

Показатель	Регенерированный песок	Комментарий
рН водной вытяжки	9,8	Щелочной
Массовая доля остаточного калия, %	0,06	Не более 0,15
ППП, %	1,63	Не более 2
Коэффициент однородности	70	Соответствует марке O <sub>2</sub>
Содержание мелкой фракции, %	0,74	Рекомендуется < 1,00
Средний диаметр частиц, мм	0,26	025 фракция

Таблица 5

Смола «Альфа-бонд 8531», %	Отвердитель Т-033, %	Динамика отверждения, мин		Предел прочности на разрыв, МПа, через			
		Живучесть, мин	Полное отверждение, мин	1 ч	2 ч	4 ч	24 ч
100% регенерированный песок (сентябрь 2023 г.)							
1,7	25	7,0	27	0,13	0,25	0,36	0,52

Таблица 6

	Исходная технология Альфабонд	После перехода на «Альфабонд 8531» и вывода формовки на целевые показатели по % регенерата
Средний объем выпуска годных отливок в месяц, т	75	75
Средний расход свежего песка на освежение, т/мес.	100	62,5
Стоимость свежего песка, руб./т (руб./мес.)	7500* (750 000)	7500* (468 750)
Средний объем утилизации регенерата, т/мес.	100	62,5
Стоимость утилизации ориентировочно, руб./т (руб./мес.)	2500** (250 000)	2500** (156 250)
Расход смолы в месяц, т	6	6
Экономия на стоимости смолы***, руб./мес.	–	60 000
Итого затраты по связующим и песку, руб./мес.	1 000 000	565 000
<b>Экономический эффект – 465000 руб./мес.</b>		

\* Оценочная стоимость с учетом доставки классифицированного сухого формовочного песка в Уральский регион от поставщика из Средне-Волжского региона.

\*\* Оценочная стоимость утилизации отработанного песка, с учетом транспортных и погрузочно-разгрузочных работ.

\*\*\* Экономия на цене покупки, без учета снижения дозировок.

Формовка с использованием смеси на «Альфа-бонд 8531» положительно повлияла на качество регенерированного песка. Массовая доля остаточной щелочи снизилась на 57%, ППП – на 17%, что, в свою очередь, сказалось на улучшении физико-механических свойств смесей (табл. 5).

В сравнении с результатами физико-механических испытаний песчано-смоляной смеси (см. табл. 2), при использовании «Альфабонд 8531» прочность образцов на разрыв повысилась на 100; 30; 23 и 70% через 1; 2; 4 и 24 ч, соответственно.

С учетом полученных результатов, СТЛЗ начал поэтапное увеличение числа циклов использования регенерированного и уменьшение доли свежего песка. При этом предприятие сохранило основные технологические параметры смеси без изменения расхода связующего. Анализ показателей качества отливок показывает, что переход на новую систему связующих не повлек за собой увеличения времени операций на зачистку и обрубку отливок. Брак остался практически на нулевом уровне, как и при исходной технологии.

Оценку приблизительного экономического эффекта от перехода на новую систему связующих можно свести к экономии на закупке свежего песка, утилизации отработанного и разницы между стоимостью связующих (табл. 6).

## Выводы

Для предприятий, использующих «альфа-сет» ХТС-технологию, сокращение затрат на закупку свежего и утилизацию отработанного песка с каждым годом становится все более актуальным. Эта задача в ряде случаев может быть решена переходом на систему натриевых связующих. Оценочный экономический эффект представленного проекта составляет ~465 000 руб./мес., что является существенной экономией для относительно небольшого литейного предприятия. Для крупных предприятий, при более низких закупочных ценах на кварцевый песок, важным становится факт снижения внутренней логистической нагрузки,

связанной с постоянным подвозом, подготовкой, промежуточным хранением и вывозом отработанного песка.

Использование натриевой «альфа-сет»-системы, в сравнении с гибридной натрий-калиевой, уже через несколько недель применения существенно улучшает качественные показатели регенерированного песка и позволяет получить более высокие значения прочности форм без увеличения расхода связующих.

Благодаря накопленному опыту, при поддержке собственной хорошо оснащенной лаборатории, а также наличию полной линейки «альфа-сет»-связующих, УХП-ХА готово предложить индивидуальное решение для каждого клиента. Вы можете выбрать системы для получения максимальной начальной и конечной прочности, системы для автоматических линий безопочной ХТС-формовки с максимально быстрым набором манипуляционной прочности или, как описано в представленном проекте, бюджетные натриевые системы для максимального использования механического регенерата.

*Будем рады помочь реализовать новые возможности для вашего предприятия.*

## Сведения об авторах

**Прадед Александр Сергеевич** – менеджер, технический специалист ООО «Уралхимпласт – Хюттенес Альбертус». E-mail: a.praded@ucp.ru

**Маланин Роман Олегович** – гл. технолог ООО «Староуткинский литейный завод». E-mail: rm@stlz.ru

**Скакун Михаил Валерьевич** – вед. инженер лаборатории ООО «Уралхимпласт-Хюттенес Альбертус»

**Чикунев Алексей Викторович** – коммерческий директор, там же