Авторы: Манфред Михенфельдер, старший партнер; Альфред Лидтке, менеджер по технологии и развитию; Кристоф Хак, генеральный директор, Michenfelder Electrotechnic GmbH & Co. KG, Майнц

Интегрированная система подготовки и контроля качества формовочных материалов

Используя новую систему Online-Sandlab, компания Michenfelder Electrotechnic GmbH & Co. KG, базирующаяся в Майнце, Германия, оптимизировала операции мониторинга и контроля важных параметров формовочных материалов и тем самым дополнила модульную систему FoMaSys управления подготовкой формовочных смесей. Впервые измерение газопроницаемости было перемещено на стадию подготовки смеси.

Система Online-Sandlab — первый прототип, представленный на Днях формовочных материалов-2014 в Дуйсбурге, Германия

Многочисленные дополнительные преимущества при решении задачи повышения качества подготовки формовочной смеси могут быть реализованы при использовании устройства для испытания смеси, пригодного для установки на ленте транспортера (**рис. 1**). Впервые измерение газопроницаемости было перенесено из лаборатории на производственный участок подготовки смеси. Это позволило осуществлять в режиме реального времени прямую и обратную связь, реагируя на широкий спектр разнообразной информации, получаемой непосредственно с формовочной машины (**рис. 2**). Кроме того, можно решить задачу практически мгновенной оптимизации качества смеси в формовочной машине. Для этого необходимо интегрировать полученные результаты в матрицу песчаной формовочной смеси MiPro и ввести их в информационную сеть полностью автоматизированной системы управления работой цеха.

Недостатки контроля качества формовочных материалов

Качество формовочных материалов контролируют, ориентируясь на комплекс измеренных показателей основных параметров. Этот комплекс различен в разных литейных цехах; не в каждом из цехов измеряют все рассматривае-

мые параметры. Степень важности каждого из измеряемых параметров также варьируется от одного литейного цеха к другому. Это объясняется различным производственным опытом или разной системой предпочтений, хотя нередко объясняется лишь доступной в данном цехе технологией измерений. Иногда проведение анализов полностью доверяют внешним обслуживающим компаниям, иногда параметры контролируют в производственных лабораториях.

Образцы для исследования отбирают на разных участках. Персонал различной квалификации выполняет разные анализы на отличающихся образцах, с использованием различного лабораторного оборудования. Запаздывание результатов анализов и «человеческий фактор» замедляют быстроту реагирования на изменение параметров и на точность регулирования. Обе эти причины сохранились с того периода, когда операторы еще располагали неограниченным временем для формирования порции формовочной смеси и бункерами огромной емкости в системе циркулирования формовочных материалов.

Требования автоматизированного, быстрого и высокоточного контроля качества песчаной формовочной смеси, характерные для современных литейных цехов, едва ли могут быть удовлетворены при таком устаревшем подходе. Следовательно, можно считать обычной практикой использование автоматизированных контролирующих и измерительных устройств в смесителях для подготовки свежей формовочной смеси, что позволяет ускорить реакцию на изменение параметров. Однако весьма важным фактором, проявляющимся при транспортировании формовочной смеси от смесителя к формовочной машине, является полная непрозрачность, даже при наличии современных систем контроля. Несмотря на повышенную стабильность работы смесителя, из-за этого невозможно регистрировать или предотвращать возникающие иногда значительные флуктуации уплотняемости смеси в формовочной машине.

Стабильность свойств в смесителе не означает их стабильность в формовочной машине

Возникающие с непредсказуемой частотой, всегда не похожие одно на другое изменения характеристик формовочной смеси, наблюдаемые на отдельных операциях подготовки и при транспортировании смеси к формовочной машине, вызваны длительным процессом сатурации бентонита, испарением и температурными эффектами, действием аэраторов формовочной смеси и перегрузочными станциями ленточных транспортеров. Все эти изменения можно регистрировать в полностью автоматическом режиме и надежно компенсировать, используя комбинацию специальных устройств и сети управления, которые объединены в систему FoMaSys управления подготовкой формовочной смеси. Объединяя систему контроля формовочной смеси в формовочной машине с модулем измерения и регулирования влажности, и установив эту систему на смесителе для приготовления свежей формовочной смеси, используя возможность тонкого регулирования этой системы, можно добиться чрезвычайно малых флуктуаций способности смеси к уплотнению (уплотняемости) непосредственно в формовочной машине (в пределах $s = 2$ %). Таким образом, достигают полной автоматизации всех стадий технологического процесса. В повседневной практике описанная система позволяет регулярно получать стандартные отклонения в пределах от $s = 0{,}8$ до $s = 1{,}5$ % и даже еще лучшие. Следовательно, для достижения постоянного низкого уровня дефектов отливок, обусловленных качеством формовочной смеси, решающее значение приобретает локализация той стадии технологического процесса, на которой формовочная смесь демонстрирует максимальную стабильность (желательно, чтобы это был не смеситель).

Получение без промедления исчерпывающей сводки о состоянии формовочной смеси

Ровно через 10 лет после появления на рынке системы FoMaSys разработана новая система On-

Рисунок 1. Прототип системы Online-Sandlab. Виден многоцелевой рукав для испытания смеси на уплотняемость и газопроницаемость

line-Sandlab компании Michenfelder, позволяющая получать в ходе технологического процесса текущую и исчерпывающую информацию о качестве формовочной смеси в любой момент и непосредственно из формовочной машины. Система эффективна и является интегрированной в производственную линию лабораторией, выдающей информацию в режиме реального времени. Название системы вполне характеризует ее. В то время как возможности системы контроля качества смеси Vedimat ограничены только измерением уплотняемости и прочности на сжатие, система Online-Sandlab в сочетании с аппаратурой MiPro для контроля и управления процессом позволяет измерять более широкий ряд параметров и оценивать их отклонения.

Измерение параметров, измеряемые параметры и опции для использования результатов

В отдельно стоящем анализаторе измеряют:
» уплотняемость;
» сдвиговое напряжение;
» прочность на сжатие;
» газопроницаемость;
» влажность и температуру.

В сочетании с аппаратурой MiPro:
» сдвиговое напряжение с записью кривой деформируемости;
» прочность на сжатие с записью кривой падения давления;
» содержание тонких фракций;
» бентонитный эквивалент;
» использование разнообразной аппаратуры для мониторинга, анализа и измерения параметров в системе MiPro;
» дистанционное обслуживание всех систем, связанных с MiPro.

В сочетании с системой измерения и регулирования влажности в смесителе:
» полностью автоматизированные настройка и корректировка стабильности такого параметра, как уплотняемость смеси непосредственно в формовочной машине;
» использование функциональной матрицы формовочной смеси MiPro.

Сочетание системы Online-Sandlab с размещенными в смесителе устройствами для контроля и измерения влажности одной из последних моделей Micomp наделяет смеситель способностями, позволяющими заказчику получить тройную выгоду. Во-первых, можно использовать преимущества отдельно стоящего анализатора, который позволяет получать наиболее достоверную и исчерпывающую информацию о параметрах процесса. Возможность полностью автоматизированного регулирования и поддержания на постоянном уровне уплотняемости смеси непосредственно на участке литья является вторым преимуществом такого сочетания систем и аппаратуры. Наконец, в-третьих, при независимом функционировании двух систем потребитель получает возможность свободного

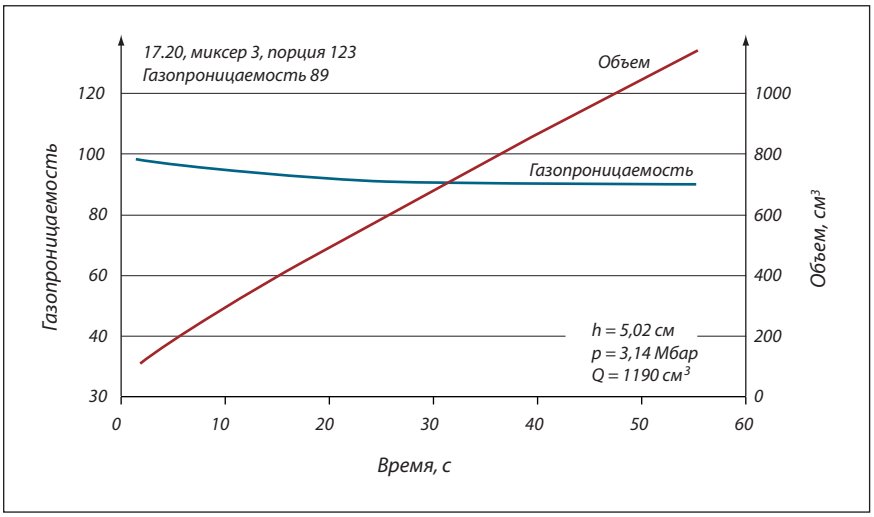

Рисунок 2. Газопроницаемость одной из контролируемых партий смеси непосредственно в формовочной машине (визуализация с помощью системы MiPro оценки и контроля параметров процесса)

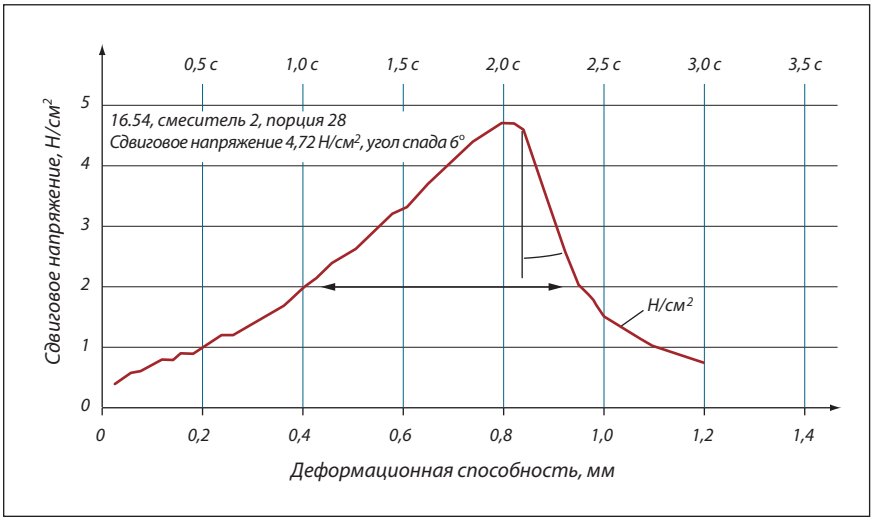

Рисунок 3. Сдвиговое напряжение и угол спада кривой как носители информации о деформационной способности порции формовочной смеси непосредственно на формовочном участке (визуализация с помощью системы MiPro оценки и контроля процесса)

и полностью автоматизированного приготовления формовочной смеси, выбирая материалы, обеспечивающие либо необходимую влажность смеси, либо ее уплотняемость.

«Всесторонняя» не значит «информативная»

Широкая база данных представляет интерес только тогда, когда ее можно быстро использовать, т. е. в случае ее легкой доступности, и весь массив данных может быть без затруднений обработан и подготовлен к использованию. Результаты обработки информации должны обеспечивать возможность быстрого принятия решений об изменении параметров оператором или об автоматизированном вмешательстве в ход процесса. Обработка информации в системе Online-Sandlab методически проводится с помощью устройств для оценки и регулирования параметров MiPro, в которых удобные для пользователя анализаторы и матрица формовочной смеси выступают в роли навигационной системы подготовки формовочной смеси, выдавая на дисплей основные параметры качества для мониторинга технологического процесса.

Система автоматически выдает корректирующие рекомендации, позволяющие предпринять контрмеры в случаях, когда показатели качества выходят за установленные рамки. В то же время пользователь получает четкие указания для тех параметров процесса, которые следует скорректировать, чтобы вернуть показатели качества формовочной смеси в заданные пределы. Экономические преимущества такой системы для литейного цеха достигаются благодаря ускорению получения и обработки информации в режиме реального времени, на основании которой формируются указания о корректирующих воздействиях. Не требуется

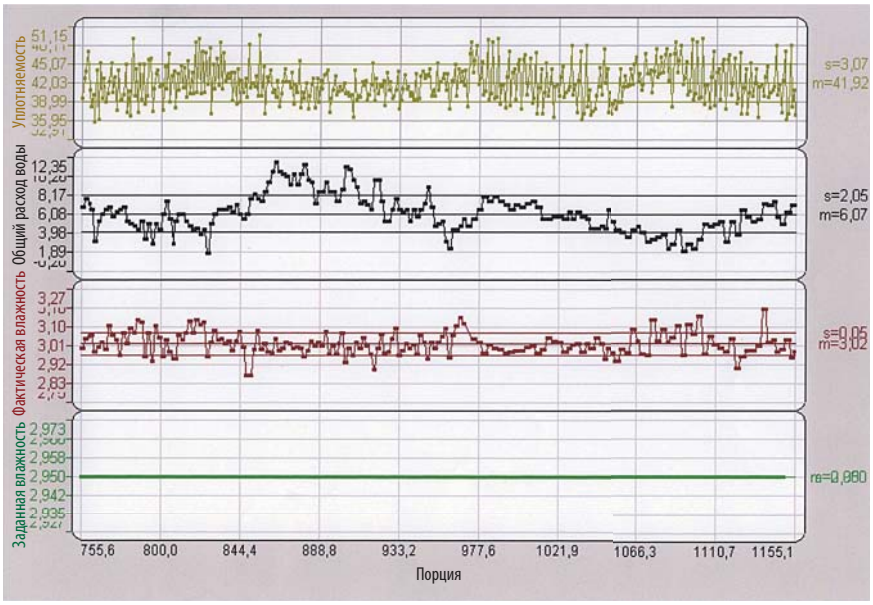

Рисунок 4. Результаты регулирования: пример использования системы FoMaSys, день 1-й

длительных расчетов с анализом взаимовлияния факторов и выработкой контрмер; необходимые меры предпринимаются немедленно.

Изменение подхода к процессу подготовки формовочных смесей

Полностью автоматизированные системы, которые будут управлять подготовкой формовочных смесей в литейных цехах будущего, создают в результате эволюции действующих систем. Аспекты «производительность» и «скорость» доминируют на протяжении десятилетий при разработке новых систем или модернизации действующих. Современные формовочные машины выдают больше песчаных смесей, поэтому требуется ускорить приготовление свежих смесей. Для этого необходимо повысить удельную производительность машин, а емкость бункеров может быть уменьшена. Связанные с этим явления (увеличение термических напряжений в смеси и сокращение цикла регенерации) преодолевают путем применения охладителей смеси. Разработаны устройства, которые могут одновременно смешивать и охлаждать ее компоненты.

Качество формовочной смеси проявляется на формовочной машине

Формовочные участки всегда играли определяющую роль в литейных цехах и сохранили эту роль до настоящего времени. С этими участками связан расход формовочных материалов и сопутствующие затраты. Они же могут оказаться причиной возникновения дорогостоящих дефектов литья в случае нарушения требуемого качества смеси, несмотря на установку высокопроизводительного оборудования и высокоскоростных смесителей. Как под увеличительным стеклом, можно безошибочно оценить по качеству продукции качество приготовления формовочной смеси, совершенство используемого оборудования, надежность контроля и мониторинга работы участка подготовки смеси. Невозможно добиться стабильного высокого качества отливок при флуктуациях качества формовочной смеси, какими бы причинами ни вызывались такие отклонения.

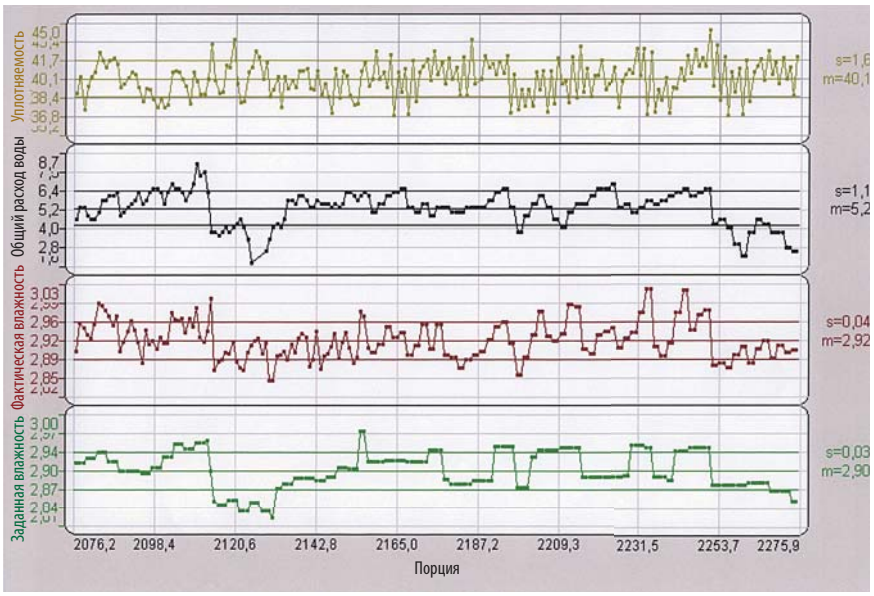

Рисунок 5. Результаты регулирования: пример использования системы FoMaSys, дни 2-й и 3-й

Медленное переосмысление этой ситуации началось 15 лет назад. Несмотря на применение современного оборудования для подготовки формовочных материалов, все же наблюдается возникновение слишком большого числа литейных дефектов, обусловленных качеством формовочной смеси. В частности, на сложных отливках дефекты, вызванные низким качеством формовочной смеси, выявляются слишком поздно, и поэтому убытки здесь особенно велики. Возникло и начало укрепляться предположение о целесообразности предварительного увлажнения оборотной формовочной смеси. Все большее внимание уделяют формовочной смеси и всему комплексу связанных с ней и взаимосвязанных показателей качества.

Потеря квалификации — тяжелое бремя

На протяжении длительного времени не возникало никаких вопросов в связи с влиянием известных, а иногда и не совсем известных (или совсем не известных) параметров процесса на качество формовочной смеси. Объяснить это можно тем, что не было сведений о взаимодействии и взаимном влиянии этих факторов. До настоящего времени по этим вопросам существуют преимущественно теоретические оценки, полученные в результате научного подхода.

Но недостаточно сформулировать вопросы. Что делать, если компании почти полностью растеряли соответствующую квалификацию? Теперь уже очевидно, что опытные старые кадры, когда-то готовившие формовочные смеси еще вручную, которые могли наощупь определять качество смеси, — эти сотрудники ушли. Кто еще помнит все тонкости этого процесса и получения продукции, роль смесителей, охладителей, бункеров, специфику работы операторов и поведение формовочной смеси? Кто распознает последовательность операций в технологической цепочке и отличит обязательные операции приготовления смеси от необязательных? Кто знает, что делать, если, к примеру, для удовлетворения потребностей формовочных машин в смеси приходится сокращать продолжительность рабочего цикла смесителя; если формовочная смесь, недостаточно увлажненная в бункере оборотной смеси для повторного использования, попала в смеситель; или когда ультратонкие фракции непрерывно удаляются, но периодически все же попадают в смесь?

Как и в других отраслях промышленности, штат операторов литейного цеха формируется с учетом высокого уровня автоматизации процессов производства отливок и, в частности, процесса подготовки формовочной смеси. Задают тон несколько специалистов высокой квалификации (преимущественно инженеров и техников, специализирующихся в области машиностроения, электрооборудования и технологии), несколько операторов технологического оборудования и ремонтная бригада. Они постоянно и тщательно контролируют работу оборудования и поддерживают его в рабочем состоянии.

О контроле качества формовочной смеси нельзя сказать того же. Сложилось мнение, что на протяжении десятилетий этой составляющей технологии литейного производства уделяли недостаточно внимания, даже при обучении и повышении квалификации специалистов-литейщиков. С каждым годом становилось все яснее, что нельзя считать современным методом контроль качества формовочной смеси исключительно в лабораторных условиях: такой контроль уже не соответствовал частым изменениям технологических параметров процесса и видов продукции, и при оценке перспектив выживания литейного производства пришли к выводу, что такому контролю в будущем отводится только вспомогательная роль.

Однако в настоящее время создается впечатление повышенного интереса к этому комплексу проблем, проявляемого на раз-

ных уровнях — начиная с ассоциаций специалистов, учебных заведений, учебных программ, поставщиков и кончая самими литейными цехами.

Тенденции проявились более 20 лет назад

Аналогичным образом были утрачены специальные знания о тонкостях подготовки компонентов формовочных смесей без использования машин; этому были противопоставлены попытки внедрения автоматизированных систем. Наступало время сбора и накопления данных. Компания Michenfelder отреагировала на новые веяния еще более 20 лет назад, разработав первую полностью автоматизированную систему испытаний и контроля формовочной смеси. Несмотря на ее функциональность, время для таких надежных информационных систем тогда еще не настало. Система позволяла определять уплотняемость, прочность на сжатие, сдвиговое напряжение (**рис. 3**) и деформационную способность, но требовала больших затрат. Оглядываясь назад, можно отметить, что объем и разнообразие получаемой информации были проблематичными. Что означали получаемые данные? Как можно их оценить? В какой последовательности следует их использовать? Потребители часто бывали озадачены подобными вопросами. Только после появления доступного графического мониторинга и аналитических систем ситуация изменилась, и новинки стало возможно применять в повседневном обиходе.

Достоверно и доступно обработанная информация как база для принятия решений

С развитием системы оценки и регулирования параметров MiPro к настоящему времени создано много вариантов устройств для мониторинга, анализа и оценки любых накопленных и поступающих данных о ходе процессов.

В их числе — все модули, использованные при разработке концепции модульной системы FoMaSys для управления процессом подготовки формовочной смеси. Предыдущие системы, в которых было предусмотрено индивидуальное измерение и регулирование влажности, испытания смеси и подготовка данных о ходе процесса вне формовочного участка, были преобразованы и сетевую систему интерактивных модулей.

Непрерывное обновление — основная идея концепции

В основу концепции положена идея непрерывного обновления формовочной смеси путем циркуляции материалов в системе подачи шихты. От решетки для выбивки опок до установки для охлаждения формовочной смеси, от бункера для отработанной смеси до смесителя для смешивания ее со свежей смесью и от смесителя до формовочной машины — на каждом из этих агрегатов и в каждой из этих машин модульная система FoMaSys последовательно уменьшает флуктуации показателей качества формовочной смеси на ее пути к формовочной машине. Этот процесс называется «воронкообразное повышение качества».

Система FoMaSys, работающая в полностью автоматическом режиме, обеспечивает изготовление смеси со стабильной уплотняемостью и минимальными отклонениями этого показателя; одновременно полученная с максимальной производительностью смесь обладает наилучшими возможными свойствами. Причем этих характеристик достигают не на каком-то участке системы циркуляции шихты, не в какой-то неопределенный момент цикла подготовки смеси, а непосредственно на формовочном участке.

Если производитель отливок использует систему непрерывного измерения и регулирования влажности смеси, которую совершенствовали на протяжении десятилетий, то можно изготавливать смесь с гарантированным уровнем влажности на выходе из смесителя и охлаждающего устройства с минимальными колебаниями этого показателя (на уров-

Реклама

не десятых и сотых долей процента). Производитель подобного оборудования — пионер в этой области. Концепция и исполнение системы FoMaSys базируются на его опыте. Способность анализаторов Vedimat или Online-Sandlab поддерживать постоянную уплотняемость смеси непосредственно в формовочной машине достигается благодаря системе FoMaSys и ее интеграции в производственную линию с учетом особенностей технологического процесса. Измерение механических параметров смеси в формовочной машине никак нельзя считать несвоевременным. Иногда это требование кажется неоправданым, но оно остается единственным способом оценки качества формовочной смеси в случаях, когда отсутствует высокоточная система непрерывного измерения и регулирования влажности в смесителе, смешивающем свежие и отработанные шихтовые материалы.

Внедрение системы FoMaSys в Бразилии

День 1-й: регулирование влажности смеси

Показателем качества формовочной смеси является заданный уровень влажности. Влажность на выходе тщательно поддерживали на постоянном уровне 3,02 % H_2O с точностью ±0,05 % (**рис. 4**, красная кривая). Можно отметить колебания уплотняемости смеси перед формовочной машиной (к этому моменту цикла этот показатель еще не отрегулирован — желтая кривая на рис. 4) в пределах ±3,07 % относительно среднего значения 41,92, несмотря на постоянную влажность в смесителе. Так как система регулирования уплотняемости формовочной смеси еще не была активирована, то не регулируется также потребление воды (заданная влажность обозначена зеленой линией на рис. 4) для автоматического поддержания на постоянном уровне уплотняемости смеси.

Несмотря на высокую точность регулирования влажности на выходе из смесителя, сохраняются колебания уплотняемости в формовочной машине. Это вызвано следующими причинами:

» переменными процентными показателями и соотношением содержания бентонита, углеродсодержащих компонентов, связующих, стержневой смеси, свежих и оборотных формовочных материалов;
» различными уровнями насыщения бентонита вследствие варьирования влажности материалов, поступающих в смеситель;
» испарением на пути подачи смеси в формовочную машину.

Дни 2 и 3: регулирование уплотняемости

На этом этапе целью подготовки формовочной смеси было получение заданного показателя уплотняемости, равного 40 %.

Значение этого показателя поддерживали постоянным непосредственно на формовочном участке, равным 40,1 % с точностью ±1,6 % при подготовке более 2000 порций смеси (**рис. 5**, желтая кривая). Таким образом, уровень отклонений уплотняемости уменьшился в два раза после внедрения системы (с обратной связью между Vedimat и Micomp Uni), т. е. точность установки этого показателя удвоилась. Такая точность получения заданного уровня уплотняемости была досигнута непосредственно на формовочном участке благодаря непрерывному тонкому регулированию подачи воды в каждую порцию смеси (с точностью до сотых долей процента). В рассматриваемом примере точность составляла ±0,04 % при среднем содержании 2,92 % H_2O (красная кривая на рис. 5).

Наиболее полная адаптация и самая высокая точность могут быть достигнуты только в результате правильного расположения Vedimat, связанного с системой измерения и регулирования влажности, которая может осуществлять регулирование с точностью до сотых долей процента (что возможно только в смесителе).

Выводы

Технологические и рабочие параметры системы FoMaSys управления подготовкой формовочной смеси успешно и всесторонне разработаны в течение последнего деятилетия. Внедрение системы Online-Sandlab позволяет установить новый стандарт подготовки формовочных материалов.

www.michenfelder.com