

УДК 624

ТЕХНОЛОГИЯ СМЕШИВАНИЯ ДЛЯ ЛУЧШЕГО КАЧЕСТВА БЕТОНА

Дирк Хойер

Машиненфабрик Густав Айрих ГмбХ & Ко КГ, Хардхайм, Германия

Представление

В соответствии с передовыми достижениями обычно всегда есть стандарты, устанавливающие прозрачные, объективные критерии описания процесса или свойств. Бетон является исключением. Несмотря на то, что свойства заполнителей, типы цемента, вода для смешивания, примеси и добавки определены стандартами и обозначены пользователю, нет обязательных инструкций для процесса совмещения этих компонентов при производстве бетонной смеси. В этой связи, правила и установки полагаются на внутреннее чутье пользователя.

Для смесителя немецкого стандарта DIN EN 206-1, например, требуется только однородная дисперсия, но не хорошая дисперсия: „9.6.2.3 Смеситель: В смесителе должна достигаться однородная дисперсия компонентов бетонной смеси в соответствии с их номинальной производительностью смешивания за время смешивания, а также единая пригодность бетона. " [1]. Процесс смешивания сам по себе не может контролироваться и является субъективным: "9.8 Смешивание бетона: Смешивание компонентов бетонной смеси требуется проводить в смесителе, соответствующем 9.6.2.3 и должно продолжаться, пока не появится однородный бетон " [1]. Стандарт не знает определения гомогенности. Соответственно, стандарты не требуют того, чтобы процесс смешивания прошел «хорошо».

Инструкция по цементу В7 (Цемент/Строительные нормы и правила В7) (март 2011) фирмы BetonMarketing Deutschland GmbH "Подготовка и производство бетона" гласит: "смешивание компонентов бетонной смеси должно проводиться в механическом смесителе и должно быть продолжено до тех пор, пока смесь не будет выглядеть однородной. Этот период является продолжительностью смешивания. Опираясь на опыт, это займет не менее 30 секунд для обычного бетона и как минимум 90 секунд для легкого бетона. Ручное смешивание не разрешено. При производстве типов бетона со специальными требованиями, например, самоуплотняющийся бетон, высокопрочный бетон, декоративный бетон, или при использовании воздуховлекающих добавок, может требоваться увеличение времени смешивания [2]. Для других типов время смешивания зависит от (не классифицировано) эффекта перемешивания смесителя [3, 4].

Что значит "увеличение" времени смешивания? И что происходит, если время смешивания слишком короткое или слишком длинное? Стандарты не дают ответов на такие вопросы. Эксперты по бетону часто ссылаются на тот факт, что процесс смешивания, несомненно, определяет качество бетона. Ф. Феррарис (Национальный Институт Стандартов и Технологии, США) пишет в своем докладе [5]: Что касается всех материалов, производство бетона

определено его микроструктурой. Его микроструктура определена его составом, режимом выдерживания, а также методом смешивания и условиями смесителя, используемого в процессе. Процедура смешивания включает тип смесителя, порядок подачи материала в смеситель, и энергию смешивания (длительность и силу).

Это проясняет, что смешивание является намного более важным фактором, чем зачастую ранее считалось.

Принципы действия смесителей для бетона

Последние всесторонние исследования по этой теме были проведены около 1980 г. Харальд Байтцель впервые в 1980 г. сообщил о "влиянии продолжительности смешивания на качество бетонной смеси" [6]. Исследование было направлено на то, чтобы позволить оценить бетонные смесители в соответствии с качеством произведенного бетона и продолжительности смешивания, после чего бетон достигает оптимальной ценности.

Исследование показало, что, к примеру, при использовании кольцевого смесителя, оптимальный результат для воды и распределения порошка в объеме от 500 до 750 л достигается за 70 с, при этом, только после 30 с возникают проявления расслоения в заполнителях среднего размера (2/16) и крупных заполнителях (16/22), как показано на Рисунке 1. Байтцель описывает подобные проявления, используя цилиндрические смесители. По Байтцелю, причиной таких расслоений являются градиенты скорости между внутренней и внешней зонами, а также центробежная сила. Следовательно, процесс смешивания всегда совмещается с процессом расслоения.

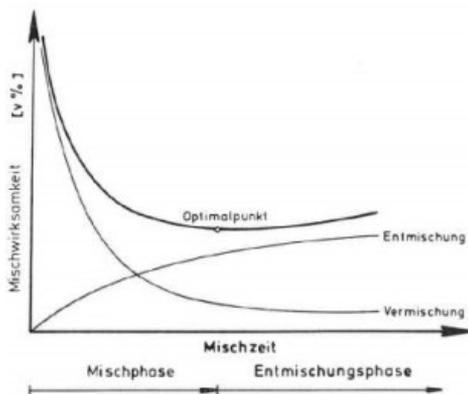


Рис. 1. Влияние продолжительности смешивания на качество бетонной смеси [6]. Эффективность смешивания выражена на оси ординат, продолжительность смешивания - на оси абсцисс. После достижения точки оптимума, происходит расслоение

Помимо расслоения, Байтцель открывает другие неприятные вещи. Как барабанный, так и цилиндрический смесители, показывают вариации качества смеси по отношению к размерам смесителя. Следовательно, время смешивания около 70 с считается хорошим для цилиндрического смесителя для того, чтобы достичь наилучшего распределения порошка с объемами заполнения от 500 до 750 л, тогда как для объемов 1000 - 2000 л оптимум был достигнут при 180 с. Кроме того, было выражено отсутствие непрерывного смесительного действия в осевом направлении, возникающих в цилиндрических смесителях из-за своей конструкции.

Исчерпывающий доклад "Принципы оптимизации бетонных смесителей" (Gesetzmäßigkeiten zur Optimierung von Betonmischern" [7]) был опубликован в 1981г. Это служило определению рабочих свойств смесителя, смесительных инструментов, скоростей, производственных скоростей вращения и времени смешивания по отношению к качеству смеси (Рис. 2 3): Почему возникают разные свойства свежего бетона при использовании различных долгих периодов смешивания, если смеситель заменен, если смеситель наполнен по-разному, если изнашиваются смесительные инструменты, и т.д. Скорость смесительного инструмента сильно влияет на качество смеси. Это объясняет, почему обычные бетонные смесители работают только на низких скоростях.

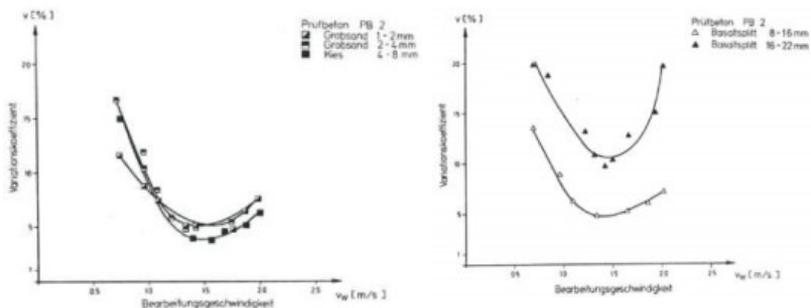


Рис. 2. Зависимость коэффициента вариации (ордината) от скорости вращения завихрителя (абсцисса) с различными размерами фракций. Слева: Крупнозернистый песок 1-4 мм, гравий 4-8 мм. Справа: базальтовый щебень 8-22 мм. [7]

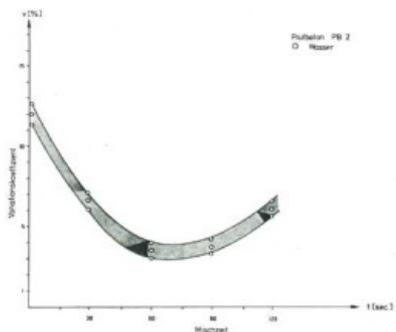


Рис. 3. Поле характеристики времени смешивания – распределение воды [7], с коэффициентом вариации (ордината) по отношению ко времени смешивания (абсцисса)

Наконец, было показано, что качество смеси сильно зависит от времени смешивания. Однако, после 70 с возникают "сильные проявления расслоения смеси"; даже распределение воды в смеси не является гомогенным.

В 1982, Байтцель четко доложил о "важности времени смешивания" [8]. Цитата: Оптимальное время смешивания барабанных смесителей варьируется от 30 до 180 с. В частности, среди крупных заполнителей, высокий градиент скорости между внутренней и внешней зонами, а также центробежная сила имеют негативное влияние (расслоение мелких и крупных заполнителей)". Цилиндрические смесители достигают "своего оптимального качества смеси при времени смешивания от 30 до 60 с". И чтобы получить "хороший" результат смешивания, потребовалось бы долгое смешивание. Это, все же, не представляется возможным, так как бетон стал бы расслаиваться.

Чем отличаются высокоинтенсивные смесители?

Смешивания предполагает процесс перестановки компонентов смеси. По этому фактору можно разделить смесители на две группы:

Группа 1: Процесс перестановки инициирует только смесительный инструмент

Типичные примеры: кольцевой, планетарный, конусный смеситель, одновальный или двухвальный смесители.

- смесительный инструмент движет смесь
- смесительные инструменты расположены близко к дну и стенкам соответственно
- проблемы с трением и износом (зачастую с керамической футеровкой)
- По этой причине только одна (низкая) скорость около 1.5 м/с

Группа 2: Перестановка при помощи вращающегося резервуара и инструмента

Типичный пример: смеситель АЙРИХ (Рис. 4.)

- резервуар движет смесь
- меньшее количество смесительных инструментов расположены близко ко дну
- устраняет проблемы с трением и износом (нет необходимости в керамической футеровке)
- неограниченное количество скоростей, вплоть до окружной скорости 40 м/с (для бетонов до 10 м/с)



Рис. 4. Интенсивный смеситель (АЙРИХ) с вращающимся смесительным резервуаром для транспортировки смеси и смесительным инструментом с регулируемыми от высоких до низких скоростями

Принцип смешивания смесительных систем с вращающимся смесительным резервуаром существенно отличается от других смесителей. В смесителях с наклонным смесительным резервуаром 100 % смеси переносится на смесительный инструмент (завихритель) за одно вращение смесительного резервуара. Это гарантирует, с одной стороны, смешивание без “мертвых зон”, и с другой стороны, смешивание без расслоения даже при долгом времени смешивания и высоких скоростях смесительных инструментов, так как это способствует разбивке пигментов и комков глины в песке.

Смесители группы 1 работают удовлетворительно для большинства стандартных областей применения. Смесители группы 2 оснащены опциональными смесительными инструментами и могут вращаться в двух направлениях, в частности, имеют результаты в виде высококачественного бетона и/или мелкозернистых смесей. Мелкозернистые смеси требуют больше процесса переноса материала – простые смесители часто неспособны с этим справиться.

Не так давно были проведены несколько сравнительных исследований качества смеси. В 2002 IFF Weimar исследовали качество смеси облицовочного бетона. Интенсивный смеситель тестировался с планетарными смесителями [9]. Интенсивный смеситель достиг значительно лучших результатов, учитывая все параметры исследования, равномерность плотности свежего бетона, содержание воды, содержание порошка, содержание твердых частиц от 0.125 до 0.25 мм, противостояние износу, морозу и высолам. Измерение интенсивности цвета в брусчатке, в итоге, подтвердило высочайшее качество смеси. В то время, как планетарный смеситель может показать отклонения более чем по 30 позициям, интенсивный смеситель показал отклонения только по 8 позициям, что

обусловлено достижением лучшего распределения пигмента; в результате часто возможно уменьшить содержание пигмента.

В 2004 Фонс Риккен составил отчет о сравнительных исследованиях со стекольной шихтой с использованием различных типов смесителей, среди которых также кольцевые смесители, смесители с горизонтальным смесительным резервуаром, кольцевые смесители с ротором, а также интенсивные смесители с наклонным смесительным резервуаром (Рис. 5) [10]. Во всех случаях, интенсивный смеситель с вращающимся смесительным резервуаром показал лучшие результаты качества смеси за кратчайшее время. В этой связи важно понимать, что даже использование более длительного времени смешивания в кольцевом смесителе (с или без ротора) не позволило достичь одинакового с победителем тестирования качества.

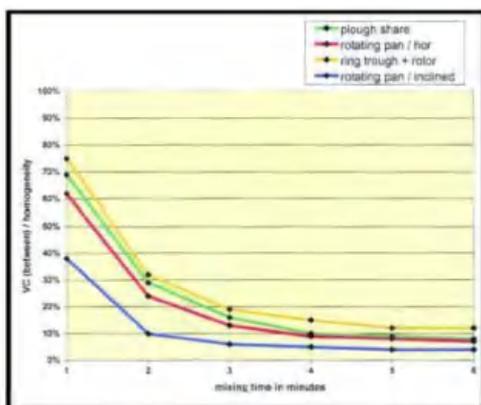


Рис. 5. Сравнительное представление четырех типов смесителя, выраженное через отношение коэффициента вариации (ордината) к времени смешивания (абсцисса) [10].

Абсолютно уникальный принцип смешивания в интенсивном смесителе приводит к тому, что почти все запреты,

применяющиеся к обычным смесителям больше не действительны при смешивании бетона. Таким образом, становится возможным добавлять воду почти так быстро, как захочется, время смешивания не зависит от объема смесителя, скорость инструмента можно менять в широком диапазоне, смесительные инструменты варьируются и могут быть адаптированы под смеситель, качество смеси практически не зависит от объема наполнения. Более того, расхождение не происходит в этих смесителях; выйти за рамки "оптимального времени смешивания" невозможно. Причина: 100 % циркуляция материала при каждом обороте смесительного резервуара.

Основные сферы применения интенсивных смесителей согласно опыту АЙРИХ это сегменты промышленности: литье (подготовка формовочного материала), металлургия (агломерационные процессы), а также керамическая промышленность (к примеру, огнеупорные материалы с корундом и карбидом кремния, активирующими веществами, электродные массы). Все эти области требуют высочайшей степени качества – поэтому смесители адаптируют под требования заказчика для любой из этих областей применения, готовые смесители не предусмотрены.



Рис. 6. Футбольный стадион в Йоханнесбурге: Бетон для фасадных элементов, приготовлен в интенсивных смесителях (EIRICH) (Авторское право Corbis Images)

Считается, что использование таких смесителей идеально подходит для производства любого вида бетонной смеси, включая бетон для черепицы, облицовочный бетон, бетон для железнодорожных шпал, пенобетон, фибробетон, высокопрочный бетон, сверхвысокопрочный бетон и полимерный бетон. Дополнительный пример дан на Рис. 6.

Интенсивные смесители окупаются достаточно быстро для облицовочного бетона, так как процент брака в значительной степени уменьшается. Дефекты на поверхности, спровоцированные комками глины, скоплениями песка или пигментными пятнами, больше не появятся. Оценка прочности более равномерная. Согласно высказываниям клиента, в производстве труб / бетонных люков с размером частиц 16 мм количество требуемой воды сокращено до 15 %, что позволяет сократить количество цемента на 8 % вообще без потери прочности.

На примере самоуплотняющегося бетона TU Munich выявил, что время смешивания 240 с, требуемое для смешивания в планетарном смесителе, может быть сокращено до 60 с, используя интенсивный смеситель [11]. Здесь это являлось преимуществом- смешивать на разных скоростях (медленно – быстро – медленно). Это показывает, что интенсивные смесители могут быть фактически использованы при производстве высокопрочного и сверхвысокопрочного бетонов. Испытания показали, что высокие скорости инструментов идеальны для этих целей [12, 13]. Использование "гибридного процесса смешивания" с разными скоростями обеспечивает смешивание бетона, к примеру, за половину времени по сравнению с двухвальным смесителем и, более того, сокращает количество суперпластификаторов. Интенсивные смесители также сегодня используются во многих университетах в качестве лабораторных смесителей в целях проведения исследований, включая сбор данных и запись процесса смешивания[14].

Резюме

Бетонные смесители принудительного действия на рынке могут быть разделены на две группы. Каждая группа имеет свои квалификации, одна для больших количеств стандартного бетона и другая для бетонов с высокими требованиями к качеству. Завися от цели и применения, оба типа смесителей могут быть установлены экономически выгодно. Все же при специфичном применении возможные более высокие затраты на приобретение интенсивных систем смешивания могут быть экономически быстро скомпенсированы преимуществами во время производства.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. DIN EN 206-1 – Produktionskontrolle, Beton-Kalender 2002, Ergänzungsband, Verlag Ernst & Sohn, Weinheim, S. 233 f
2. <http://www.beton.org/fileadmin/pdfpool/Zementmerkblaetter/B7.pdf> (state 30.08.2012)
3. http://www.bauglossar.com/definition_maschinenmischen (state 30.08.2012)
4. http://www.bauglossar.com/definition_mischen-beton-mischen (state 30.08.2012)
5. Ferraris, Ch. F., 2001, „Concrete Mixing Methods and Concrete Mixers: State of the Art” J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 106 (2001), pp 391 - 399
6. Beitzel, H., 1980, „Einfluss der Mischdauer auf die Betonmischgüte“, BMT 27 (1980) number 2, pp 77 – 83
7. Beitzel, H., 1981, „Gesetzmäßigkeiten zur Optimierung von Betonmischern“, part 1, BMT 28 (1981) number 11, pp 586 - 602; part 2: BMT 28 (1981), number 12, pp 641 - 647
8. Beitzel, H., 1982, „Bedeutung der Mischzeit für Konstruktion und Einsatz von Betonmischern“, BMT 29 (1982) number 5, pp 230 – 234
9. „Investigations to the mixing performance of mixers for facing concrete”, 2003, report from Institut für Fertigteilechnik und Fertigbau Weimar e.V. (Institute for Prefabricated Element Technology and Prefabricated Building in Weimar, Germany), excerpt available from Maschinenfabrik Gustav Eirich, Hardheim, Germany
10. Rikken, F.2004, “Focus on mixer performance and glass batch quality”, GLASS INTERNATIONAL SEPTEMBER/OCTOBER 2004, pp 76 – 77
11. Lowke, D. et al., 2005, „Optimierung des Mischablaufs für selbstverdichtende Betone“, beton 12/2005, pp 614 – 617
12. Orgass, M. und Dehn, F., 2006, „Einfluss der Mischtechnik bei Hochleistungsbetonen“, BFT 1/2006, pp 22 - 28
13. Dehn, F., Orgass, M. und König, A., 2007, „Einfluss unterschiedlichster Mischparameter auf die Frischbetoneigenschaften von ultrahochfestem Faserbeton“, BWI – BetonWerk International – 5/2007 pp 68 – 77
14. “Symposium Mix – Control – Record for universities and concrete technologists, the defined mixing process”, BFT 5/2005, pp 68 – 73