

Д. М. КУКУЙ, С. Л. РОВИН, БГПА

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ В ПРОЦЕССЕ СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЯ

УДК 621.74

В современном машиностроении, автомобиле- и тракторостроении более 60% используемых деталей являются отливками, а требования к их качеству, геометрической и размерной точности постоянно растут. В то же время в отечественном литейном производстве более 70% брака отливок, получаемых в разовых литейных формах, связано с низким качеством используемой смеси и форм. Главные причины сложившейся ситуации — устаревшее смесеприготовительное оборудование, отсутствие надежной системы опережающего контроля качества формовочной смеси и гибкой системы автоматического управления процессом ее приготовления.

Сегодня практически во всех цехах Беларуси, так же как, впрочем, и в России и Украине, основным смесеприготовительным агрегатом являются катковые бегуны. В то же время исследования и мировой опыт показывают, что даже применительно к песчано-глинистым смесям эти смесители неэффективны. Все большую популярность и распространение завоевывают высокоскоростные вихревые смесители.

В общем случае приготовление формовочной смеси представляет собой процесс образования тер-

модинамически устойчивой скелетной системы коагуляционного типа. При неизменном составе и отсутствии химических взаимодействий она обратима по прочности, т. е. может многократно разрушаться и восстанавливаться. Таким образом, процесс перемешивания есть непрерывное разрушение и образование коагуляционных контактов, которое сопровождается ростом межфазной поверхности раздела “связующее — наполнитель” за счет более равномерного распределения связующего по объему смеси (увеличение количества контактов) и более полного обволакивания зерен наполнителя (увеличение площади контакта). Параллельно из отдельных компонентов жидкой фазы — дисперсионной среды (связующее, специальные добавки, вода и т.д.) идет образование связывающей композиции — суспензии, эмульсии, коллоидного раствора и своего рода механическая активация связующего [1, 2]. При этом, как показывают исследования, образование гомогенной связывающей композиции и ее равномерное распределение по объему смеси происходит со значительным опережением процесса образования равномерной пленки связующего на поверхности зерна наполнителя и активации связующего (рис. 1, а, б).

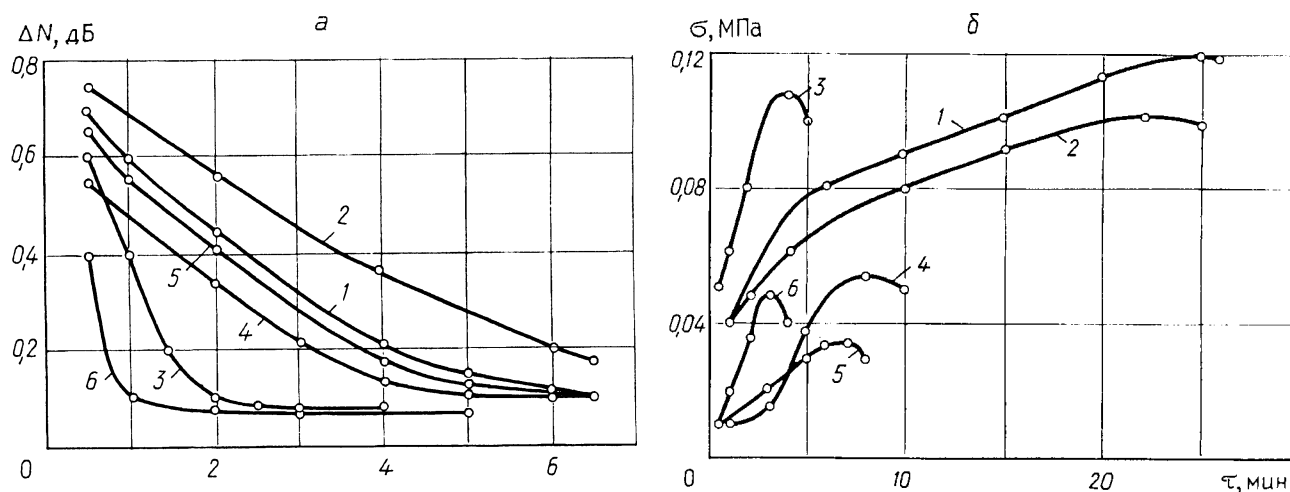


Рис. 1. Влияние типа смесителя и состава смеси на процесс смесеприготовления: а — распределение связующего в объеме смеси; б — достижение максимальной прочности; 1 — 3 — ПГС (бентонит — 8%, влажность — 4%); 4 — 6 — жидкостекольная смесь (жидкая связывающая композиция — 7,5%); 1, 4 — катковый смеситель; 2, 5 — горизонтальный лопастный смеситель; 3, 6 — вертикальный скоростной смеситель

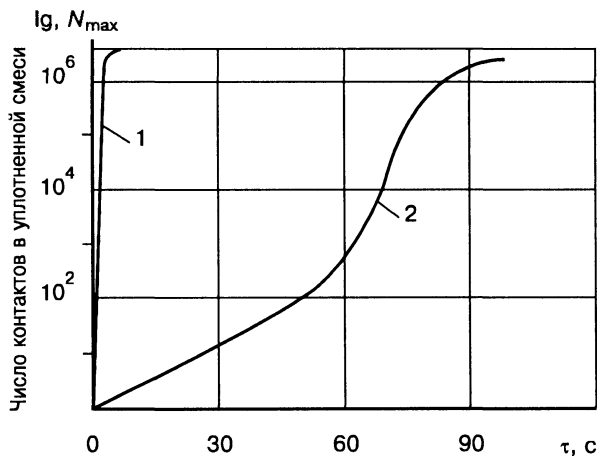


Рис. 2. Кинетика образования коагуляционных контактов: 1 — жидкие связующие (скоростной шнековый смеситель,  $E=1,5 \cdot 10^{-3}$  кВт · ч/кг смеси); 2 — глинистая суспензия (бегуны периодического действия,  $E=1,5$  кВт · ч/кг смеси)

При проведении экспериментальных исследований оценка равномерности распределения связующего осуществлялась по максимальному отклонению от среднего значения уровня поглощения микроволнового сигнала ( $\Delta M$ ) в различных участках исследуемого объема смеси (рис. 1, а). Изменения проводили с помощью лабораторного СВЧ-влажмера. Оценка степени активации связующего и момента завершения пленкообразования на поверхности зерен наполнителя осуществлялась фиксированием достижения максимальной прочности (рис. 1, б). Как видно из рисунка, разница во времени между окончанием распределения связующего по объему смеси и моментом завершения процесса обволакивания связующим поверхности зерен наполнителя характерна для любых смесей и всех типов смесителей. Эта разница тем больше, чем выше вязкость и собственная структурная прочность связующего.

Оба названных процесса и увеличение межфазной поверхности раздела и образование связывающей композиции в соответствии с законами термодинамики происходят с поглощением энергии, при этом второй процесс (образование связывающей композиции) энергетически существенно менее емкий и в меньшей степени оказывает влияние на кинетику смесеобразования. Энергозатраты в процессе перемешивания в первую очередь зависят от реологических характеристик (вязкости) связывающей композиции и условий смачивания на поверхности раздела «связующее — наполнитель». Одним из критериев качества перемешивания и энергоемкости процесса может служить число контактов, образовавшихся в единице объема смеси после уплотнения (рис. 2) [1]. Из рисунка видно, что изготовление смеси II рода (песчано-глинистые смеси) требует существенно больших энергозатрат, чем приготовление песчано-смоляных или жидкостекольных смесей (смесей I рода), что объясняется низкой структурной вязкостью связующих в смесях I рода по сравнению с глинистым связующим.

С точки зрения деформационной теории смесеприготовления представляет собой совокупность разнонаправленных деформаций, среди которых можно выделить [3]:

1) образование в массе смеси скользящих друг по другу слоев (плоскостей) — сдвиговые деформации (срезающее смешивание);

2) перемещение групп (микрообъемов), частиц из одного положения в другое — конвективное смешивание;

3) перемена позиций отдельными частицами, переходящими из слоя в слой — диффузионное смешивание;

4) рассеяние частиц при соударении или ударах о стенки смесителя — ударное смешивание;

5) деформация и растирание слоя смеси и отдельных частиц — измельчение или разрушающие деформации.

Первые четыре вида деформаций играют положительную роль, последний желательно не допускать. Наиболее эффективным является тот процесс смесеприготовления, который сочетает в себе все виды смешивания и исключает разрушающие деформации.

Все разнообразие известных и применяемых в той или иной мере смесителей можно классифицировать по виду воздействия рабочего органа на частицы перемешиваемого материала (рис. 3).

Процесс перемешивания в общем виде можно представить уравнением:

$$U_{\text{пер}} = \eta(A_n m + A_{\text{кор}} S m) \tau,$$

где  $U_{\text{пер}}$  — общая энергия процесса;  $\eta$  — КПД смесителя;  $A_n$  — удельная работа перемещения единичной массы смеси;  $A_{\text{кор}}$  — удельная работа когезии;  $m$  — масса смеси;  $S$  — удельная поверхность элементарного объема смеси;  $\tau$  — время перемешивания.

Анализ приведенной зависимости показывает, что энергия, затрачиваемая на смешивание в единицу времени, зависит только от массы смеси и сил когезии. Особенности конструкции смесителя определяют его КПД. Если время  $\tau$  понимать как интервал, необходимый для получения смеси требуемого качества, то по  $U_{\text{пер}}$  можно судить об эффективности того или иного процесса перемешивания. Рассматриваемая зависимость является универсальной, она не только характеризует кинетику процесса перемешивания, но и устанавливает связь между характеристиками смеси и типом смесителя [3].

Однако большинство существующих смесителей имеет недостатки. Некоторые из них не дают нужной степени однородности, другие экономически невыгодны из-за низкого КПД или из-за быстрого абразивного износа трущихся частей (лопастей, обечайки, катков и т.д.) смесителя. Одним из отрицательных факторов, присущих катковым смесителям, является разрушение зерен наполнителя, что соответственно приводит к повышению запыленности и ухудшению газопроницаемости и формовкости смеси.

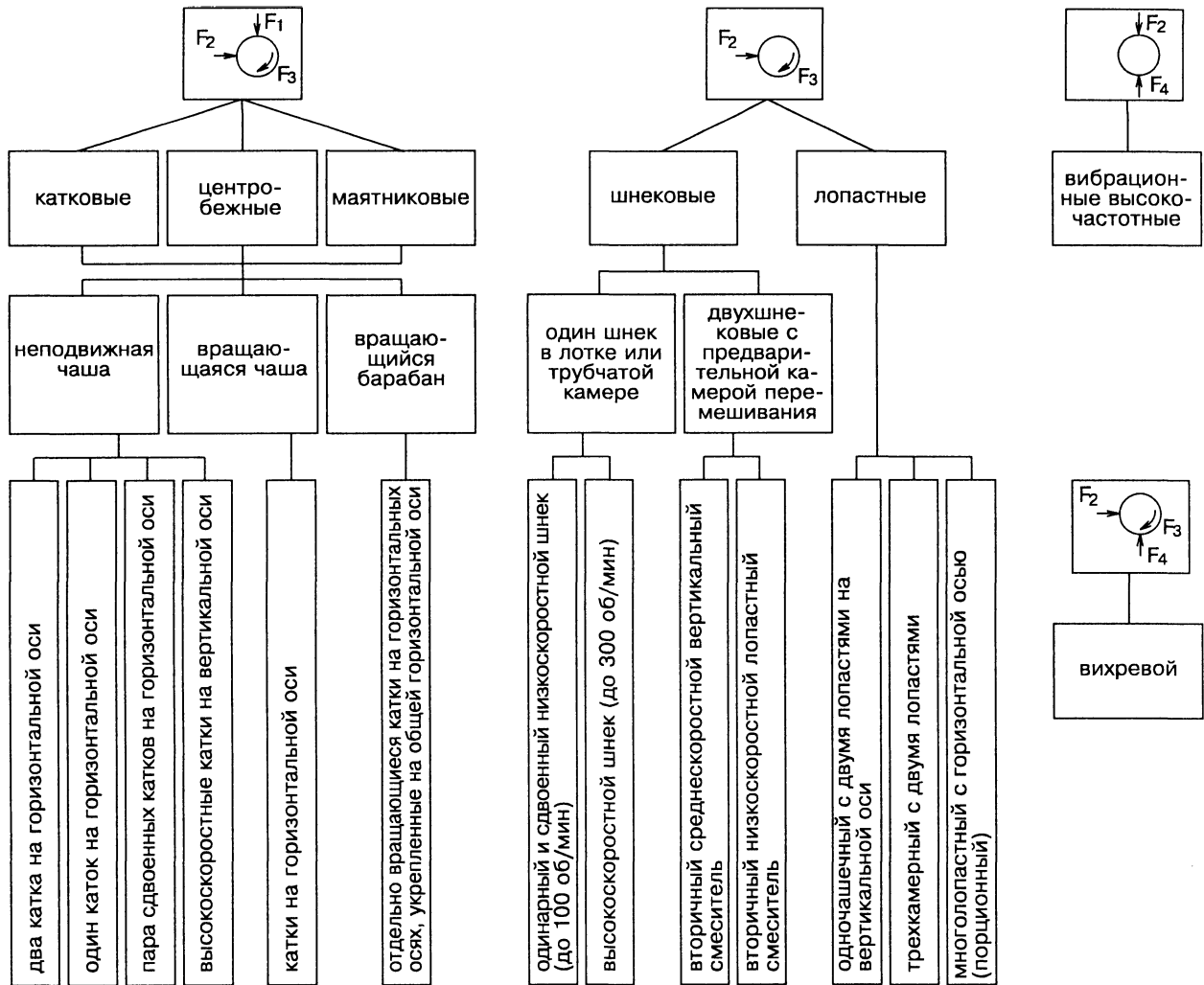


Рис. 3. Классификация смесителей по типу воздействия на частицы наполнителя

Результаты экспериментов, проведенные на трех видах лабораторных смесителей, приведены в табл. 1—3. В табл. 1 дан сравнительный анализ удельных энергозатрат ( $U_{пр}$ ), необходимых для приготовления 1 кг смеси (до получения однородного состава).

Как видно из таблицы, наиболее рациональным для всех типов смеси по потреблению энергии является скоростной лопастный смеситель с вертикально расположенными лопастями. В какой-то степени он является наиболее приближенным к вихревому типу смесителя.

Оценка качества получаемой смеси проводилась по уровню достигаемой сырой прочности.

Максимальные сырые прочности, полученные на различных смесях и типах лабораторных смесителей, приведены в табл. 2.

Для всех исследовавшихся смесей максимальная сырая прочность была получена в катковом смесителе, что, возможно, объясняется активацией связующего, происходящей в катковом смесителе за счет более высоких энергий, участвующих в процессе. Хотя расхождения между скоростным лопастным

Таблица 1

Вид смеси	Тип смесителя, $U_{пр}$ , кДж		
	катков- ый	лопастный	
		с горизонтально расположенными лопастями	с вертикально расположенными лопастями
ПГС	96	240	21,6
ПСС	72	120	14,4
Жидкостекольная смесь	96	120	14,4
Смесь, отвержден- ная тепловой сушкой	192	240	14,4

Таблица 2

Вид смеси	Тип смесителя, $\sigma_{max}$ , МПа		
	катков- ый	лопастный	
		с горизонтально расположенными лопастями	с вертикально расположенными лопастями
ПГС	0,129	0,112	0,110
ПСС	0,049	0,013	0,038
Жидкостекольная смесь	0,054	0,029	0,045
Смесь, отвержден- ная тепловой сушкой	0,019	0,012	0,017

Таблица 3

Вид смеси	Тип смесителя, Упр. кДж		
	катко- вый	лопастный	
		с горизонтально расположенными лопастями	с вертикально расположенными лопастями
ПГС	576	660	50,4
ПСС	148	160	24,4
Жидкостеклольная смесь	192	180	28,8
Смесь, отвержден- ная тепловой сушкой	528	600	43,2

тным смесителем (вертикальным) и катковым находятся в пределах погрешности измерений.

В табл. 3 приведен удельный расход энергии в пересчете на 1 кг смеси, необходимый для получения максимальной для данного типа смесителя сырой прочности.

Эксперименты показали, что для всех типов смесей лопастный смеситель с вертикально расположенными лопастями — наиболее экономичный смешивающий агрегат. Однако уровень внешних сил, воздействующих на смесь в этом смесителе, является не достаточным, чтобы обеспечить достижение максимальных физико-механических свойств приготавливаемой смеси. Таким образом, чтобы получить смеситель, который был бы по всем показателям наи-

лучшим, необходимо комбинирование нескольких методов или вариантов воздействия на смесь в одном смесителе, а также использование высокоскоростных рабочих органов, обеспечивающих высокоэнергетическое динамическое воздействие.

Как раз такой подход реализуется в современных высокоскоростных вихревых смесителях, предлагаемых ведущими западными производителями. Чтобы понять основы проектирования таких смесителей и пути их совершенствования, необходимо исследовать динамику движения смеси, попавшей в чашу смесителя, влияние тех или иных конструкторских особенностей самого смесителя и используемых скоростных режимов.

С этой целью в БГПА была разработана конструкция универсальной лабораторной смесеприготовительной установки, на которой будет осуществлен комплекс исследований, связанных с моделированием условий работы вихревого смесителя в условиях динамического многоуровневого разнонаправленного механического воздействия на компоненты смеси.

#### Литература

1. Жуковский С. С. Прочность литейной формы. М., 1989.
2. Бречко А. А., Великанов Г. Ф. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами Л., 1982.
3. Стренн Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Л., 1975.

#### Уважаемые дамы и господа!

**BVV. Ярмарки и выставки. Брно, Чехия. Приглашаем Вас с 24 по 27 октября 2000 г. в Брно (Чехия) на 8-ю Международную специализированную выставку литейного производства**

### FOND-EX

Одновременно с выставкой FOND-EX будут проходить три другие выставки: **WELDING** — Международная выставка сварочных работ и металлорезки, **SIMET** — выставка ремесленных работ, **ENVIBRNO** — выставка техники по охране окружающей среды.

#### Тематика выставки FOND-EX

1. Литейные комплексы.
2. Оборудование для плавки и разливки металлов и сплавов: шахтные печи, электрические печи, оборудование для продувки металла и подготовки шихты, системы управления процессом плавки, огнеупорные материалы.
3. Оборудование для изготовления форм и стержней, подготовки формовочной смеси.
4. Формовочные материалы.
5. Оборудование для специальных видов литья: литье под давлением, литье в кокиль, точные виды литья.
6. Оборудование для финишной обработки отливок.
7. Термообработка и сушка отливок, форм, стержней.
8. Техника манипулирования, изготовления форм.
9. Техника управления и регулирования.
10. САПР литейной технологии и технологической оснастки.
11. Техника измерений и проверки материалов.
12. Вспомогательное оборудование.
13. Защита окружающей среды и устранение отходов, эргономика и безопасность труда.
14. Кондиционирование.
15. Обработка информации.
16. Консалтинговые услуги.
17. Специальные издания и обучение.