

Д. т. н. **В. И. Ванчурин**¹ (✉), д. х. н. **А. В. Беляков**¹ (✉),
к. т. н. **Д. Ш. Джумамухамедов**², к. т. н. **А. В. Федотов**³

¹ ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия

² ООО «Инжиниринговый центр МФТИ по трудноизвлекаемым полезным ископаемым», Москва, территория инновационного центра «Сколково», Россия

³ ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия

УДК 666.762.2.022.41:678.027.37]:546.478-03

РЕОЛОГИЯ ФОРМОВОЧНЫХ МАСС ДЛЯ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ АЛЮМОКРЕМНЕЗЕМИСТЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

На примере керамического медьалюмокремнеземистого катализатора (МАК-К) (по-английски CAS-C) для дегидрирования циклогексанола в циклогексанон в производстве карбамида исследованы реологические и механические свойства медьсодержащей алюмокремнеземистой пластичной массы в зависимости от ее состава. Приведены данные о влиянии технологических и конструктивных условий формования массы в шнековом прессе на производительность экструдруемых керамических заготовок. Выявленные особенности в поведении формуемой пластичной массы объясняются различиями в поверхностных свойствах частиц кремнезема, взаимодействующих с прекурсором активного компонента на стадии синтеза катализатора. Установлены состав формовочной массы и режимы экструзии на шнековых экструдерах, обеспечивающие выход качественных и механически прочных керамических заготовок (экструдатов).

Ключевые слова: медьалюмокремнеземистый катализатор (МАК-К), алюмокремнеземистая пластичная масса, экструзия, структурно-механические свойства.

ВВЕДЕНИЕ

Существуют два основных метода получения керамического носителя для катализаторов: таблетирование тонкомолотых порошковых шихт, экструзионное формование пластичных формовочных масс. Изготовление таблеток методом полусухого прессования позволяет получать керамические заготовки строго определенной геометрии и с высокой механической прочностью. Однако их изготовление требует тщательной подготовки составов шихт и дорогостоящих прессов и пресс-форм, эксплуатация которых приводит к существенному износу пресс-инструмента. Кроме того, из-за сил трения при полусухом прессовании и использования повышенного давления структура носителей катализаторов для ряда процессов может

оказаться далекой от оптимальных значений. Метод изготовления таблеток предполагает использование специальных добавок, снижающих трение между частицами порошка и между частицами порошка и стенками пресс-формы при прессовании, но остающихся в заготовке после низкотемпературной термообработки при 270–280 °С и снижающих ее качество.

Использование менее затратного и производительного метода экструзии в технологии получения носителей для катализаторов может обеспечить значительные преимущества перед методом их полусухого прессования. Для успешного формования на шнековых экструдерах без вакуумирования пластичная формовочная масса должна удовлетворять определенному набору структурно-механических свойств и быть адаптирована к технологическим и конструктивным условиям процесса экструзии.

Применительно к медьсодержащим алюмокремнеземистым пластичным формовочным массам для медьсодержащих катализаторов влияние состава на формовочные свойства и условия их успешной экструзии в литературе освещены недостаточно.



В. И. Ванчурин
E-mail: vanchourin@mail.ru
А. В. Беляков
E-mail: av_bel@bk.ru

Цель настоящей работы — исследование структурно-механических свойств алюмокремнеземистых пластичных формовочных масс при варьировании их состава в интервале, не допускающем ухудшения эксплуатационных характеристик готового катализатора. Изучено также влияние конструктивных особенностей формовочного узла керамического пресса и параметров проведения экструзии на качество получаемых заготовок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта исследования выбран отечественный медьалюмокремнеземистый катализатор (МАК-К) [1, 2], разработанный как альтернатива известному катализатору НЗ-11 фирмы БАСФ. Оба катализатора предназначены в первую очередь для осуществления стадии дегидрирования циклогексанола в производстве капролактама. Формовочная масса для МАК-К содержит SiO_2 в виде белой сажи (БС) марки БС-100 производства Башкирской содовой компании (г. Стерлитамак) с удельной поверхностью $50\text{--}60 \text{ м}^2\cdot\text{г}^{-1}$ и оксигидроксид алюминия — бёмит марки А-64 производства Ангарского завода катализаторов и органического синтеза с удельной поверхностью $180\text{--}210 \text{ м}^2\cdot\text{г}^{-1}$.

Наноразмерный бёмит придает формовочной массе пластифицирующие и смазывающие свойства, а также модифицирует структуру готового катализатора, сохраняя активный компонент (медьсодержащие наночастицы) в наноструктурированном состоянии в период эксплуатации катализатора. Видимо, наночастицы бёмита препятствуют росту медьсодержащих частиц [2]. Для изготовления МАК-К использовали медно-аммиачно-карбонатную технологию [3]. Омеднение поверхности носителя проводили водным раствором, содержащим медно-аммиачный комплекс (раствор $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{CO}_3$), путем его обработки в пропеллерной мешалке с наружным обогревом.

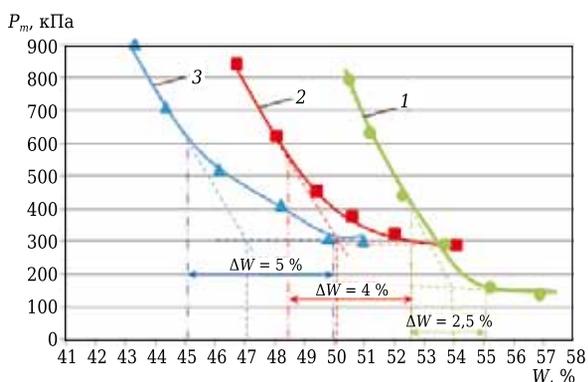


Рис. 1. Зависимость пластической прочности P_m от влажности W формовочных масс с разным отношением SiO_2 : бёмит: 1 — 5:1; 2 — 4:1; 3 — 3:1

Массовое отношение в формовочной массе SiO_2 к бёмиту составляло (3–5):1 (при содержании бёмита в составе носителя 16,7–25,0 мас. %). Раствор $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{CO}_3$ использовали с концентрацией 100 г/л, пересчитанной на CuO . Показано [1, 2], что хемосорбция меди идет на белой саже с разрывом слоев силоксанов, а бёмит повышает температуру службы катализатора, улучшает формовочные свойства и условия экструзии.

После нанесения раствора $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{CO}_3$ на частицы формовочной массы шликер фильтровали, осадок высушивали до необходимой влажности (43–57 мас. %, см. рис. 1) и формовали из него гранулы методом экструзии. Затем гранулы сушили и подвергали окончательной термообработке при 270–280 °С в течение 2 ч [1]. При этом $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{CO}_3$ разлагался в узком интервале относительно низких температур (260–310 °С) с четким эндотермическим эффектом при 290 °С. Частицы SiO_2 не успевали начать кристаллизацию, хотя и теряли физически связанную воду. Бёмит при нагревании ступенчато терял структурную воду (эндотермические эффекты с максимумами при 250 и 400 °С) и переходил в $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Готовый катализатор представлял собой цилиндрические гранулы светло-бирюзового цвета диаметром 4,0–4,5 и длиной 5–12 мм и содержал 20–22 мас. % медного компонента (в пересчете на CuO).

Пластическую прочность P_m формовочных масс определяли на коническом пластометре конструкции П. А. Ребиндера [4] и рассчитывали по формуле

$$P_m = \frac{K_\alpha \cdot F}{h^2}, \quad (1)$$

где K_α — константа для конуса с углом при вершине $\alpha = 60^\circ$, $K_\alpha = 0,413 \cdot 10^5$; F — нагрузка на конус; h — глубина погружения конуса.

Оптимальную формовочную влажность $W_{\text{опт}}$ находили из зависимости пластической прочности от влажности формовочной массы. Значению $W_{\text{опт}}$ соответствует точка перехода линейной зависимости $P_m(W)$ к криволинейному участку (рис. 1).

Для сравнительной оценки пригодности формовочных масс к формованию на шнековых экструдерах использовали коэффициент формуемости пластичной массы R_ϕ [4–6], который рассчитывали по данным испытания на приборе со штампом постоянного сечения:

$$R_\phi = L \left(1 - \frac{P_s - P_m}{P_m + P_c} \right), \quad (2)$$

где L — коэффициент дислокаций, характеризующий изменение структуры пластичной формовочной массы при деформации; P_c и P_s — давление первоначального уплотнения и давление,

разрушающее образец, соответственно; L , P_c и P_s определяли по данным [4].

Зависимость между давлением на штамп P и относительной суммарной деформацией ϵ' при вдавливании штампа в образец определяли по уравнению [4]:

$$L\epsilon' = \left(\frac{P + P_c}{P_s - P} \cdot \frac{P_s}{P_c} \right). \quad (3)$$

Пластичные свойства формовочных масс для их идентификации по структурно-механическому типу определяли на пластометре конструкции Д. М. Толстого [7] путем определения упругих $\epsilon_{уп}$, эластических $\epsilon_{эл}$ и пластических $\epsilon_{пл}$ деформаций и их относительных значений, приведенных к нагрузке $2 \cdot 10^6$ Па и времени 1000 с. Агрегативную устойчивость коагуляционной структуры в реальном процессе экструзии оценивали из зависимостей производительности экструдера от частоты вращения шнека n и «живого» сечения мундштука $S_{ж}$ [8]. Механическую прочность отформованных экструдатов измеряли на просушенных образцах длиной 10–12 и диаметром 4,0–4,2 мм с использованием экстензогра ИПП-1 (испытатель прочности гранул). В качестве показателя прочности принимали среднее значение усилия на отдельное зерно при раздавливании 20 образцов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При изменении содержания бёмита в пластичной формовочной массе исходили из условия сохранения высокого уровня каталитических свойств получаемого катализатора. Водосодержащие пластичные формовочные массы, удовлетворяющие требованиям устойчивого формования керамических заготовок методом экструзии, должны иметь определенную влажность, которая определяет степень развития гидратных оболочек на поверхности дисперсных частиц. Оптимальную формовочную влажность и допустимый диапазон ее изменения для каждой формовочной массы находили из зависимостей пластической прочности от влажности. Из рис. 1 видно, что с увеличением содержания бёмита при переходе от массы 1 к массе 3 оптимальная формовочная влажность уменьшалась от 54 до 47 %, а допустимый диапазон ее изменения расширялся от 3 до 5 %.

При удовлетворительном развитии гидратных оболочек и отсутствии избыточной дисперсионной среды твердые частицы и слой

формовочной массы выстраивались вдоль линии приложения внешних сил. Поступательное продвижение формовочной массы в канале экструдера должно приводить к увеличению числа контактов между частицами и упрочнению ее структуры. При избыточной концентрации гидратных оболочек на поверхности частиц силы взаимодействия между ними ослаблены, структура становится рыхлой, что позволяет частицам перемещаться и занимать наиболее энергетически выгодные позиции. Одновременно это приводит к развитию сдвиговых напряжений и некоторому сдвигу слоев материала. В зависимости от угла наклона головки прессы это может приводить к такому уровню напряжений, при котором снижение исходной влажности обеспечивает повышение прочности формовочной массы и термообработанного катализатора. При последующих стадиях сушки и прокаливания плотность и механическая прочность гранул катализатора будет тем больше, чем ниже исходная влажность формовочной массы. Формовочная масса 3 (см табл. 1) обладает минимальной влажностью. Кроме того, она более технологична, поскольку имеет расширенный диапазон допустимой формовочной влажности ΔW .

С увеличением содержания бёмита в составе носителя изменяется соотношение между упруго-эластическими и пластическими деформациями. Относительные значения упругих, эластических и пластических деформаций, а также оптимальной влажности и типа формовочной массы по С. П. Ничипоренко приведены в табл. 1.

Формовочная масса 3 с содержанием бёмита в носителе около 25 мас. % относится к структурно-механическому типу V диаграммы С. П. Ничипоренко (рис. 2). Известно [9], что пластичные формовочные массы, в которых распределение различных видов деформаций соответствует структурно-механическим типам V и II, отличаются улучшенными структурно-механическими характеристиками и пригодны для формования методом экструзии благодаря удачному соотношению тиксотропности и дилатантности. Преобладающее развитие упругих деформаций пластичных формовочных масс, относящихся к структурно-механическим типам 0 и III, создают серьезные затруднения при экструзии из-за вероятного разрушения возникающей коагуляционной структуры. Действительно, при формовании масс 1 и 2 на выходе из мундштука наблюдалось искажение цилиндрической формы

Таблица 1. Структурно-механические свойства пластичных формовочных масс для катализаторов

Формовочная масса	SiO ₂ : бёмит	W _{опт} , %	ΔW, %	Упругая, эластическая и пластическая деформация, %			Тип формовочной массы по С. П. Ничипоренко
				ε' _{уп}	ε' _{эл}	ε' _{пл}	
1	5:1	54	2,5	45,4	30	24,6	0
2	4:1	50	4,0	32,0	23	45,0	IV
3	3:1	47	5,0	12,8	40	47,2	V

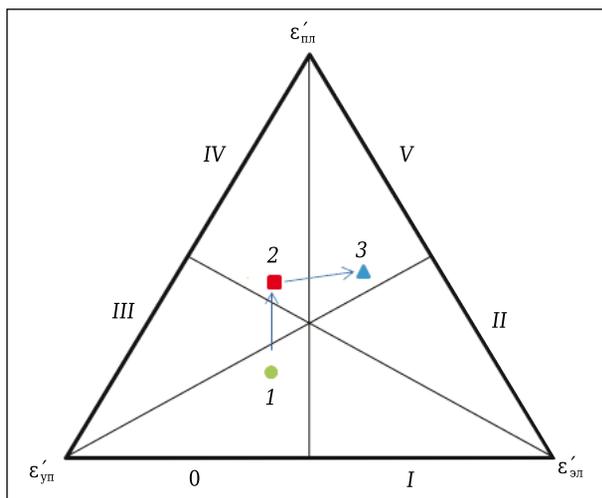


Рис. 2. Диаграмма С. П. Ничипоренко и изменение структурно-механических характеристик пластичных формовочных масс 1–3

выдавливаемых гранул. Это периодически повторяющееся явление особенно заметно при высокой скорости формования, что объясняется превышением суммарной величины неотрелаксированных упругих напряжений над прочностью материала.

Способность пластичных формовочных масс к формованию на шнековых экструдерах можно оценить по коэффициенту формуемости R_{ϕ} , который связывает давление формования P_{ϕ} с параметрами, характеризующими свойства формовочных масс. В соответствии с классификацией [4, 9] пластичные формовочные массы, обладающие минимальными абсолютными значениями R_{ϕ} , относятся к массам с удовлетворительной формуемостью. Высокие отрицательные значения R_{ϕ} свидетельствуют о недостаточной пластичности массы и необходимости приложения более высокого напряжения формования, что, в свою очередь, может привести к разрушению коагуляционной структуры массы и деформации заготовки.

Характеристика пластичных формовочных масс приведена в табл. 2. Из рис. 2 и табл. 2 видно, что составы масс 1 и 2 трудно отнести к категории пластичных масс, пригодных для промышленного формования, поскольку значения R_{ϕ} не попадают в область удовлетворительной формуемости (см. рис. 2). При этом прослеживается тенденция к снижению R_{ϕ} с увеличением содержания бёмита в формовочной массе с отношением SiO_2 : бёмит от 3:1 до 5:1 (см. табл. 2). Для формовочной массы 3 R_{ϕ} принимает наиболее выгодное значение, близкое к 0.

Приведенные результаты относятся к пластичным формовочным массам, пребывающим в статическом состоянии, т. е. в условиях практически не разрушенных структур. Эти результаты следует рассматривать как предварительные, сужающие круг возможных составов пластичных формовочных масс для пластического формования методом экструзии. В реальном процессе экструзионного формования масса находится в условиях объемно-напряженного состояния, испытывает действие нормальных, касательных и сдвиговых напряжений [4]. Сопротивляемость коагуляционной структуры пластичной формовочной массы к разнонаправленному воздействию со стороны формирующего узла может оказаться недостаточной для получения качественных формованных изделий.

Для дополнительной оценки пригодности пластичной формовочной массы к формованию необходимо исследовать ее экструзионные свойства непосредственно в работающем шнековом прессе. Сведения о возможности устойчивого формования пластичных формовочных масс при сохранении прочности коагуляционной структуры могут быть получены из зависимости производительности экструдера от частоты вращения шнека и размера «живого» сечения мундштука прессы. Актуальность подобных исследований непосредственно в условиях экструзии указана также в публикациях [6, 8].

Зависимость производительности шнекового прессы Q от частоты вращения шнека n для пластичных формовочных масс 1–3 и мундштука с живым сечением $S_{\text{ж}} = 34,5\%$ показана на рис. 3. Видно, что для пластичных формовочных масс 1 и 2 зависимости $Q(n)$ проходят через максимумы и при $n \geq 10$ об·мин⁻¹ производительность начинает снижаться. При повышении максимума производительности прочность коагуляционных структур формируемых пластичных масс не выдерживает возрастающих усилий со стороны головки прессы и мундштука. Массы начинают растекаться, разжижаться, вода начинает отжиматься от частиц порошка твердой фазы к стенкам мундштука. В таких условиях экструзия становится невозможной. Для пластичной формовочной массы 3 зависимость $Q(n)$ в исследуемом интервале изменения n близка к линейной, и формование массы протекает в устойчивом режиме.

Выявленные особенности в поведении формовочных масс можно объяснить разными поверхностными свойствами частиц SiO_2 , взаи-

Таблица 2. Характеристика пластичных формовочных масс

Формовочная масса	SiO_2 : бёмит	P_s , кПа	P_c , кПа	L	R_{ϕ}
1	5:1	320	32	150	-38,0
2	4:1	478	25	123	-8,7
3	3:1	260	15	36	-0,4

модействующих с раствором $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{CO}_3$ на стадии обработки массы его раствором. Пластичная масса 3 по сравнению с массами 2 и 1 имеет наименьшее содержание аморфного кремнезема. Практически вся гидроксильная поверхность частиц кремнезема покрыта аммиакатами меди, образующими сольватные оболочки и играющими роль поверхностно-активного вещества (ПАВ). В результате снижается вероятность слипания частиц SiO_2 , повышается их агрегативная устойчивость, возрастают подвижность коагуляционной структуры и плотность упаковки формируемой заготовки.

Для пластичных масс 1 и 2 с избыточным содержанием SiO_2 при заданном содержании медного компонента часть поверхности частиц кремнезема, по-видимому, остается не покрытой ПАВ. Частицы SiO_2 по не покрытым ПАВ гидроксильрованным участкам поверхности будут слипаться и агломерироваться под действием ван-дер-ваальсовых сил и водородных связей. Для разрушения агломератов, возникающих при коагуляции дисперсной системы, увеличения подвижности ее структурных элементов и улучшения формуемости пластичной массы требуется добавка дополнительной воды, играющей роль пептизатора. Избыток воды ухудшает условия формования. Под влиянием механических воздействий при гомогенизации и формовании заготовок вода, не входящая в состав гидратных оболочек и находящаяся в пространстве между частицами, выдавливается из них в свободном виде. Пластичная формовочная масса постепенно переходит в разбавленную суспензию, теряет связанность и разжижается настолько, что перестает формоваться.

В качестве конструктивного параметра мундштука, способного оказать влияние на экструзионные характеристики и качество получаемой заготовки, выступает размер его «живого» сечения. Для пластичной формовочной массы 3 исследовано влияние n для мундштука с разным $S_{\text{ж}}$ на производительность экструдера (рис. 4). Для мундштука с $S_{\text{ж}} = 11,5\%$ производительность экструдера не превышает $2,5 \text{ см}^3 \cdot \text{мин}^{-1}$, а при $n > 10 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$ снижается до 0. Чрезмерное механическое воздействие со стороны шнека приводит к разрушению коагуляционной структуры, разжижению пластичной формовочной массы и остановке экструзии. Для мундштука с $S_{\text{ж}} = 23\%$ производительность с ростом n снижается от 12 до $2,5 \text{ см}^3 \cdot \text{мин}^{-1}$, что обусловлено возрастающим сопротивлением движению пластичной формовочной массы в цилиндре экструдера и увеличением интенсивности оказываемых на нее механических усилий. Для мундштука с $S_{\text{ж}} = 34,5\%$ производительность стабильно возрастает с ростом n . Вид кривой $Q(n)$ свидетельствует о том, что разрушения коагуляционной структуры в пластичной фор-

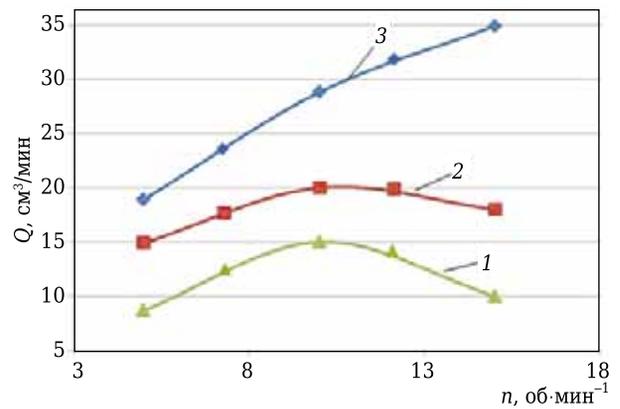


Рис. 3. Зависимость Q от n для мундштука с $S_{\text{ж}} = 34,5\%$: 1 — SiO_2 : бёмит = 5:1; 2 — SiO_2 : бёмит = 4:1; 3 — SiO_2 : бёмит = 3:1

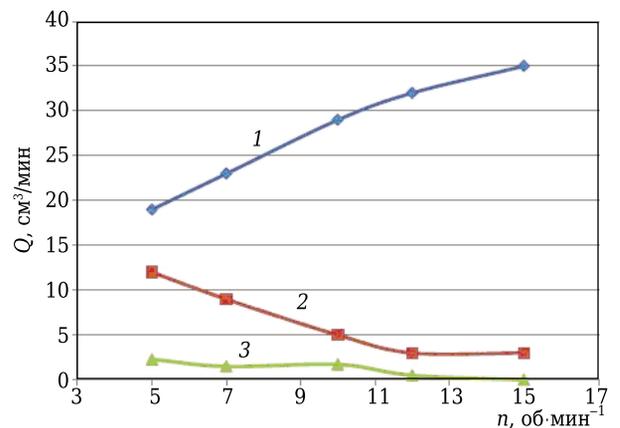


Рис. 4. Зависимость Q для пластичной формовочной массы 3 от n для мундштука с разным $S_{\text{ж}}$: 1 — 34,5%; 2 — 23%; 3 — 11,5%

мовочной массе не происходит и она формируется в устойчивом режиме с получением качественных полуфабрикатов.

Из анализа экструзионных характеристик медьсодержащих алюмокремнеземистых катализаторных пластичных формовочных масс следует, что производственная оценка их формуемости непосредственно в работающем экструдере удовлетворительно согласуется с полученными до этого данными по структурно-механическим свойствам и коэффициенту формуемости $R_{\text{ф}}$.

Для измерения механической прочности были выбраны просушенные, но не термообработанные гранулы, отформованные при $n = 10 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$ и $S_{\text{ж}} = 34,5\%$. Прочность гранул из формовочной массы 3 составила $0,26 \text{ МПа}$, из формовочных масс 1 и 2 — соответственно $0,18$ и $0,2 \text{ МПа}$ на гранулу, т. е. примерно на 30% ниже.

Приведенные зависимости $Q(n)$ при разном живом сечении мундштука могут быть использованы при конструировании формирующей оснастки и выборе режима экструзии пластичной формовочной массы для производства МАК-К.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследованы структурно-механические и экструзионные свойства медьсодержащей алюмокремнеземистой пластичной формовочной массы в зависимости от ее состава, используемого для МАК-К, применяемого при дегидрировании циклогексанола.

2. Установлено, что при уменьшении содержания бёмитной составляющей пластичной формовочной массы по отношению к белой саже от 25 до 16,7 мас. % снижается оптимальная формовочная влажность и расширяется допустимый диапазон ее изменения. Пластичная формовочная масса переходит в категорию масс с улучшенными

структурно-механическими характеристиками (тип V по диаграмме С. П. Ничипоренко).

3. Представлены данные о влиянии технологических и конструктивных условий формования на качество экструдированных заготовок. Выявленные особенности в поведении пластичных формовочных масс объясняются различиями в поверхностных свойствах частиц кремнезема, взаимодействующих с прекурсором активного компонента на стадии обработки формовочной массы раствором $[Cu(NH_3)_4]CO_3$. Установлены состав формовочной массы и режимы экструзии, обеспечивающие получение качественных и механически прочных заготовок.

Библиографический список

1. **Vanchurin, V. I.** Targeted synthesis of a copper catalyst with a nanostructured active component / V. I. Vanchurin, Yu. L. Pavlov, A. Yu. Petrov [et al.] // *Catalysis in Industry*. — 2016. — Vol. 8, № 3. — P. 257–264. DOI:10.18412/1816-0387-2016-2-41-47.

Ванчури́н, В. И. Направленный синтез медного катализатора с наноструктурированным активным компонентом / В. И. Ванчури́н, Ю. Л. Павлов, А. Ю. Петров [и др.] // *Катализ в пром-сти*. — 2016. — № 2. — С. 41–47. DOI:10.18412/1816-0387-2016-2-41-47.

2. **Конькова, Т. В.** Синтез и исследование медьсодержащего наноструктурированного катализатора дегидрирования циклогексанола в циклогексанон / Т. В. Конькова, В. И. Ванчури́н, О. И. Караченко [и др.] // *ЖПХ*. — 2018. — Т. 91, вып. 8. — С. 1192–1197. DOI:10.1134/S0044461818080121.

Konkova, T. V. Synthesis and study of a copper-containing nanostructured catalyst for dehydrogenation of cyclohexanol into cyclohexanone / T. V. Konkova, V. I. Vanchurin, O. I. Karachenko [et al.] // *Russian J. of Applied Chemistry*. — 2018. — Vol. 91, № 8. — P. 1370–1374. DOI:10.1134/S1070427218080165.

3. **Комова, З. В.** Бессточная технология получения медьсодержащих катализаторов / З. В. Комова, И. П. Зрелова, А. Я. Вейнбендер [и др.] // *Катализ в пром-сти*. — 2007. — № 5. — С. 43–51.

4. **Ильин, А. П.** Физико-химическая механика в технологии катализаторов и сорбентов / А. П. Ильин, В. Ю. Прокофьев. — Иваново : Ивановский гос. хим.-технол. ун-т, 2004. — С. 48–89.

5. **Ильин, А. П.** Определение оптимальной влажности катализаторных масс на стадии формования / А. П. Ильин, Ю. Г. Широков, Л. И. Тительман // *Вопросы кинетики и катализа (закономерности формирования гетерогенных катализаторов)*. — Иваново, 1983. — С. 51–54.

6. **Половинкин, М. А.** Экструзионное формование «энергосберегающих» форм зерен (типоразмеров) железомолибденового катализатора для процесса окисления метанола в формальдегид / М. А. Половинкин, В. В. Костюченко, В. И. Ванчури́н [и др.] // *Катализ в пром-сти*. — 2013. — № 4. — С. 11–15.

7. **Прокофьев, В. Ю.** Структурообразование и управление свойствами формовочных масс для экструзии / В. Ю. Прокофьев, А. П. Ильин // *Изв. вузов. Сер. Химия и хим. технология*. — 2001. — Т. 44, вып. 2. — С. 72–77.

8. **Костюченко, В. В.** Влияние конструктивных параметров формирующего узла и режима работы шнекового экструдера на формование катализаторных паст / В. В. Костюченко, О. О. Шибков, В. С. Бесков [и др.] // *Катализ в пром-сти*. — 2008. — № 3. — С. 28–31.

9. **Прокофьев, В. Ю.** Формовочные массы для экструзии. Основные требования // *Научные основы приготовления катализаторов. Творческое наследие и дальнейшее развитие работ профессора И. П. Кириллова: монография* / В. Ю. Прокофьев, А. П. Ильин, С. М. Грудци ; под ред. А. П. Ильина. — Иваново : Ивановский гос. хим.-технол. ун-т, 2008. — С. 122–144. ■

Получено 01.04.20

© В. И. Ванчури́н, А. В. Беляков, Д. Ш. Джумамухамедов, А. В. Федотов, 2020 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Ceramics 2020
6th International Conference and Expo on
CERAMICS AND COMPOSITE MATERIALS
Международная конференция и выставка по
КЕРАМИКЕ И КОМПОЗИТНЫМ МАТЕРИАЛАМ
8–9 июня 2020 г. г. Франкфурт, Германия
www.ceramics.insightconferences.com