

ти, служащие заготовками для прокатки шаров. Нарезанные заготовки вновь нагреваются в индукторе и подаются в устройство прокатки, где и происходит окончательное формообразование поковок. Работа оборудования автоматически синхронизируется с системой управления кузнечного индукционного нагревателя.

Использование новой технологии при изготовлении шаров дробильного оборудования позволит отказаться от дорогостоящих закупок металла, уменьшит производственные площади и количество задействованного оборудования, значительно улучшит условия труда на предприятии. Внедрение новой технологии исключает какие-либо отрицательные последствия для окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Макушок, В. А. Клушин, В. Я. Шукин. Совершенствование поперечно – клиновой прокатки. - Минск.: Наука и техника, 1980.
2. Поперечно – клиновая прокатка. Под ред. докт. техн. наук Макушка Е. М. - Минск.: Наука и техника, 1974.
3. Вигли. Механические свойства материалов при низких температурах. - М.: Мир, 1974.

УДК 621.762.8

ВЫСОКОПОРИСТЫЕ ЯЧЕИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

А. Н. Леонов

(НИИ ПМ с ОП, г. Минск)

Качество природной среды, обеспечивающей состояние здоровья людей, оценивается по составу атмосферного воздуха, поверхностных, подземных и сточных вод, степени загрязнения почв, накоплению отходов. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ только по Республике Беларусь составили в 1996 году 2.09 млн. т, в том числе оксидов углерода 1.24 млн. т, диоксида серы 0.25 млн. т, оксидов азота 0.17 млн. т, углеводородов и летучих органических соединений 0.34 млн. т [1]. В связи с этим сохранение окружающей среды на экологически приемлемом уровне является одной из важнейших задач современного общества.

гически приемлемом уровне является одной из глобальных проблем человечества XXI века. Для решения проблем такого класса необходимы новые подходы, и, в первую очередь, – необходима разработка новых материалов, способных работать в экстремальных условиях.

Наука вплотную подошла к решению крупномасштабных проблем, связанных с высокопроиз-

водительной очисткой, фильтрацией и катализом больших объемов агрессивных жидкостей и газов (отработавшие газы транспорта, ТЭЦ, химических и металлургических производств, экологический катализ. воздух для пневмосистем, расплавы полимеров и жидких металлов). Среди различных путей, один из наиболее перспективных связан с использованием высокопроницаемых материалов, получаемых методами порошковой металлургии.

Прежде чем привести результаты сравнительных исследований катализаторов с различными макроструктурами проанализируем существующие классы проницаемых материалов, которые можно разбить на две группы: материалы с неорганизованной и организованной макроструктурой (рис. 1).

Первая группа состоит из проницаемых порошковых и волоконных материалов, макроструктуры которых, несмотря на определенные статистические закономерности, образованы случайным расположением структурообразующих элементов (частицы или волокна). Проницаемые порошковые материалы (ППМ) обладают пористостью 20-45% и размером пор 10-200 мкм [2], а проницаемые волоконные материалы (ПВМ) – 30-80% и 20-300 мкм [2].

Вторая группа состоит из сетчатых, ячеистых и сотовых проницаемых материалов, макроструктуры которых организованы по известному алгоритму. Прони-



Рис. 1. Топография макроструктур различных классов проницаемых материалов.

цаемые сетчатые материалы (ПСМ), получаемые прессованием и спеканием заранее изготовленных сеток, обладают пористостью 20-80% и размером каналов 20-200 мкм [2]. Высокопроницаемые ячеистые материалы (ВПЯМ), получаемые дублированием ячеистых полимерных материалов путем нанесения на них неорганического покрытия с последующим спеканием, имеют пористость 75-97% и размер каналов 200-5000 мкм [3]. Высокопроницаемые сотовые материалы (ВПСМ), получаемые экструдированием порошковых пластических масс через фильеру с последующей сушкой и спеканием, имеют пористость 50-80% и размер каналов 800-7000 мкм [4].

Различие в макроструктуре проницаемых материалов наглядно иллюстрируется разнообразием семейства кривых, описывающих изменение прочности материалов от пористости по формуле Бальшина [5] (рис. 2):

$$\sigma = \sigma_0 (1 - P_{\text{макро}})^m, \quad (1)$$

где σ , σ_0 - механическая прочность пористого и компактного материала; $P_{\text{макро}}$ - пористость материала; m - показатель степени, который для ППМ равен 3-4, ПВМ - 2-3, ПСМ - 1.2-1.4, ВПЯМ - 1.5-1.7, ВПСМ - 1. Различие в макроструктурах проницаемых материалов проявляется прежде всего в разных значениях показателя m , физический смысл которого - отношение общей массы материала к массе материала, принимающего нагрузку при силовом воздействии. По прочностным свойствам хорошую перспективу имеют ВПСМ, ПСМ и ВПЯМ, так как обладают относительно высокой прочностью при высокой пористости.

В табл. 1 приведены значения гидравлических потерь на различных носителях при объемной скорости газового потока 10^5 л/ч. Из приведенных данных видно, что только ВПЯМ и ВПСМ при высоких скоростях газов обеспечивают относительно невысокие перепады давления (до 1000 мм водн. ст.).

Оптимизация технологии получения проницаемых материалов для фильтрации и катализа заключается в нахождении разумного компромисса между основными свойствами – пористостью, проницаемостью и прочностью.

По комплексу физико-механических и гидродинамических свойств (рис. 2 и табл.1) только ВПЯМ и ВПСМ, обладающие относительно большими размерами каналов 0.2-7 мм и относительно высокой прочностью, можно использовать для решения проблем высокопроизводительных процессов фильтрации и катализа.

При анализе первичных носителей на их пригодность для высокопроизводительных процессов фильтрации и катализа необходимо отталкиваться от функциональных требований к ним: 1) высокая проницаемость; 2) высокая прочность и вибростойкость; 3) высокая жаростойкость и термостойкость; 4) высокий коэффициент внешней диффузии.

Что касается 1-ого параметра, и сотовые, и ячеистые носители, как уже было показано, обладают достаточно высокой и легко регулируемой, за счет изменения размеров каналов, проницаемостью. По 2-ому параметру, который предопределяется как макроструктурой носителя, так и химсоставом материала, блочные носители сотовой структуры, на сегодняшний день, имеют лучшие показатели, чем ячеистые. 3-ий параметр, определяемый химсоставом материала,

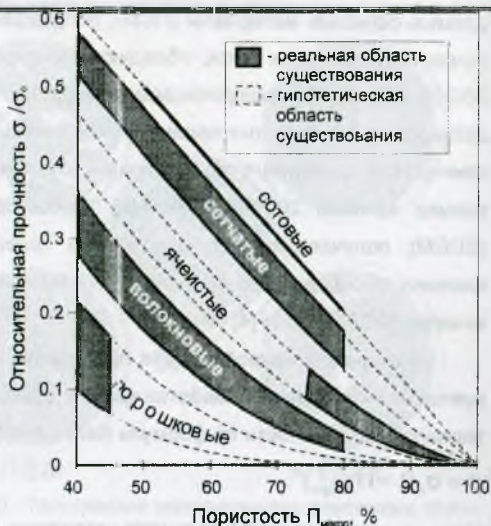


Рис. 2. Зависимость механической прочности от пористости для различных классов проницаемых материалов.

Табл. 1

практически не зависит от макроструктуры и поэтому Перепады давления на блочных носителях с одинаковы для обоих классов различными макроструктурами. материалов.

Что касается 4-ого параметра, высокие значения пористости и размеров каналов ВПЯМ и ВПСМ вызывают необходимость проведения анализа тепломассопереноса в таких материалах. Величина коэффициента тепломассопереноса при течении газов в порищаемых структурах зависит от многих факторов.

Наиболее существенными из них являются: причина движения (естественная или вынужденная конвекция), режим течения (ламинарный или турбулентный), линейная скорость, теплофизические па-

раметры газа (λ , μ , c_p , ρ), геометрическая форма и размеры каналов [6]. Интенсивность процессов тепломассообмена между газовым потоком и поверхностью носителя характеризуется критерием Нуссельта (Nu), который для различных режимов течения газов при вынужденной конвекции для широкого спектра геометрических конфигураций каналов можно сценить по следующим формулам [6]:

$$Nu = k_n Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad \text{для ламинарного режима} \quad (2)$$

$$Nu = k_r Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad \text{для турбулентного режима,} \quad (3)$$

где Re , Pr - критерии Рейнольдса и Прандтля, k_n , k_r - коэффициенты, зависящие от геометрической конфигурации каналов.

Число Прандтля, содержащее только физические параметры среды, для газов практически не зависит ни от температуры, ни от давления и равно ~ 1 [6]. По-

<div style="text-align: center;"> </div>			
		Относительная объемная скорость фильтрации $W = \frac{Q}{V_0} = 10^{5.1}/ч$	
		Скорость фильтрации $V = \frac{Q}{S_0} = 7 м/с$	
		Перепад давления $\Delta P = \frac{V \mu H}{K_\mu}$	
Объем блока $V_0 = 10 л$			
Входное сечение $S_0 = 0.04 м^2$			
Материал	$K_\mu, м^2$	$\Delta P, мм Н_2О$	$\Delta P, атм$
ППМ ПВМ ПСМ	10^{-13}	30 000 000	3 000
	10^{-12}	3 000 000	300
	10^{-11}	300 000	30
ВПЯМ ВПСМ	10^{-10}	30 000	3
	10^{-9}	3 000	0,3
	10^{-8}	300	0,03
	10^{-7}	30	0,003

этому критерий Нуссельта для газов определяется в основном режимом течения, критерием Рейнольдса и геометрической конфигурацией каналов. В работе [7] показано, что в каналах сотовой структуры даже при высоких скоростях фильтрации 5-10 м/с (критерий Рейнольдса $Re \sim 10^2-10^3$) реализуется режим течения, близкий к ламинарному. В материалах ячеистой структуры турбулизация газового потока начинается уже со скоростей 0.1 м/с [8]. Точное значение коэффициентов k_n и k_t для каналов ячеистых и сотовых носителей теоретически найти достаточно сложно. В работе [9] экспериментально показано, что условия тепломассопереноса в ячеистом материале значительно лучше по сравнению с сотовым. Для $Re \sim 10^2-10^3$ критерий Нуссельта для ячеистых материалов в 3-4 раза больше, чем для сотовых, и, следовательно, во столько же раз больше коэффициент внешнего массообмена. Следствием относительно невысокого значения критерия Нуссельта в каналах ВПСМ является ограничение скорости каталитических реакций из-за неэффективного массообмена между газом и катализатором. ВПЯМ обеспечивают лучшие условия массообмена и поэтому более эффективное использование поверхности, причем все эти преимущества проявляются при высоких нагрузках на катализатор (до 10^5 $1/ч$ и выше). На практике увеличение коэффициента внешнего массообмена позволяет, не снижая каталитической активности блочного катализатора, уменьшать его объем, а значит и стоимость. Поэтому по 4-ому параметру ВПЯМ имеют преимущество перед ВПСМ.

В связи с вышесказанным следует ожидать, что каталитические процессы, протекающие во внешнедиффузионном режиме, будут эффективнее на ячеистых катализаторах, чем на сотовых. Это преимущество особенно существенно для экологического катализа, когда в связи с незначительными концентрациями реагирующих веществ, процесс протекает глубоко в области внешней диффузии [10].

Таким образом, для процессов каталитической газоочистки макроструктура первичного носителя имеет важное значение, так как его физико-механические, макроструктурные и гидродинамические свойства (пористость, размер каналов, теплопроводность, термостойкость, прочность, жаропрочность), определяют основные эксплуатационные свойства блочного катализатора (ресурс работы, перепад давления и каталитическую активность).

Для проведения сравнительных испытаний по каталитической активности были изготовлены блоки из ВПЯМ и ВПСМ, имеющие равные объемы и высоту, приблизительно равные удельные макроповерхности $\sim 1000 \text{ }^1/\text{м}$, одинаковые концентрации вторичного носителя ($\sim 100 \text{ г/л } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) и каталитически активного компонента (4 г/л Pd). Испытания проводились на дизеле 149.5/11 мощностью 5 кВт при 1500 мин^{-1} в диапазоне объемных скоростей $(30\text{-}100) \cdot 10^3 \text{ }^1/\text{ч}$. Испытываемые образцы устанавливались на байпасной линии с обогревом при температурах $100\text{-}350^\circ\text{C}$.

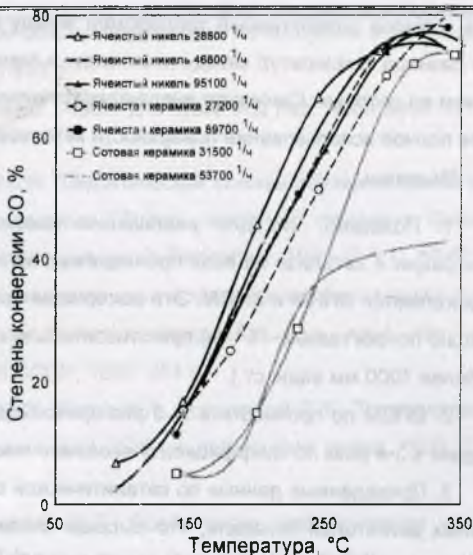


Рис.3. Температурная зависимость степени конверсии CO на сотовых и ячеистых носителях (каталитически активный компонент Pd).

На рис. 3 приведены кривые конверсии CO, полученные на каталитических блоках из ВПЯМ на основе никеля и керамики и ВПСМ на основе керамики. Анализ полученных результатов показал, что каталитическая активность катализаторов на основе сотовой керамики после $3 \cdot 10^4 \text{ }^1/\text{ч}$ начинает падать, тогда как каталитическая активность катализаторов на основе ячеистого никеля и керамики сохраняется неизменной вплоть до $10^5 \text{ }^1/\text{ч}$. Этот факт подтверждает вывод о большем коэффициенте внешней диффузии ячеистых катализаторов, обладающих арочно-лабиринтной макроструктурой, по сравнению с сотовыми катализаторами, обладающими канално-прямоточной макроструктурой. Из графиков также видно, что реакция окисления CO на катализаторах с ячеистой структурой протекает при температурах на $50\text{-}100^\circ\text{C}$ ниже, чем на сотовых. Объяснение этого явления заключается в том, что больший коэффициент внешней диффузии в ячеистых материалах обеспечивает не только более эффективный массообмен, но

также и более эффективный теплообмен между газом и носителем. В связи с этим разница температур между носителем и газом в ячеистых носителях меньше, чем на сотовых. Снижение внешнедиффузионного торможения обеспечивает более полное использование поверхности катализатора из ВПЯМ.

Выводы.

1. Показано, что для реализации высокопроизводительных процессов фильтрации и катализа из всех проницаемых материалов наиболее перспективными являются ВПЯМ и ВПСМ. Эти материалы позволяют пропускать через себя большие потоки газов ($\sim 10^5$ $1/ч$) при относительно небольших перепадах давления (не более 1000 мм водн. ст.).

2. ВПСМ по прочности в 3–5 раз превосходят ВПЯМ, однако уступают последним в 3–4 раза по коэффициенту внешнего массообмена.

3. Приведенные данные по каталитической очистке отработавших газов дизельных двигателей показали, что высокая степень конверсии CO на ячеистых носителях сохраняется вплоть до скоростей 10^5 $1/ч$, а на сотовых носителях до $3 \cdot 10^4$ $1/ч$. Арочно-лабиринтная макроструктура ячеистых носителей для протекания каталитических процессов эффективнее канально-прямоточной структуры сотовых носителей.

4. Таким образом, совокупность свойств ВПЯМ позволяет рекомендовать их к использованию в качестве носителей катализаторов в процессах, где необходимо сочетание низких гидравлических потерь с эффективным массообменом газового потока с поверхностью катализатора, например, для экологического катализа.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Русый М.И., Лиштван И.И., Рачевский А.Н. и др. // Ж. Природные ресурсы. 1997. № 1. С. 5.
2. Пористые проницаемые материалы: Спрв. изд. под ред. Белова С.В. М.: Металлургия, 1987. 335 с.
3. Leonov A.N., Smorygo O.L., Sheleg V K.// Monolithic Catalyst Supports With Foam Structure. J. React. Kiney. Catal. Lett., 1997. Vol 60. No. 2. P. 259-267.
4. Блочные носители и катализаторы сотовой структуры. Сб. науч. трудов под ред. Исмаилова З.Р. Новосибирск: ИК АН СССР, 1990. 122 с., 1992. 132 с.

5. Бальшин М.Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. М.: Металлургия, 1972. 335 с.
6. Теория тепломассообмена. Учебн. для вузов под ред. Леонтьева А.И. М.: Высшая школа, 1979. 496 с.
7. Носков А.С., Загоруйко А.Н. Теоретические основы обезвреживания газовых выбросов на сотовых катализаторах.// Тезисы междунар. семинара: Блочные носители и катализаторы сотовой структуры, С.-Петербург, 1995. Ч. I. С. 57-61.
8. Шапошников М.И. Экспериментальное исследование фильтрации жидкостей и газов в высокопористых ячеистых материалах. Дис. канд. тех. наук: 01.02.05. – Пермь: ИМСС УО АН СССР, 1990. 231 с.
9. Саулин Д.В., Пузанов И.С., Кетов А.А. Островский С.В. Теплоперенос в слое блочных каталитических носителей. // Журн. прикладной химии. 1998. Т. 71. № 2. С. 276-282.
10. Власенко В.М., Вольфсон В.Я. Особенности экологического катализа.//Катализ и катализаторы. Киев: Наук. Думка. Вып. 20. 1982. С. 3-6.

УДК 712.23(2)

**ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (НА
ПРИМЕРЕ СВОБОДНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ "БРЕСТ")**

В.Е. Валуев, А.А. Волчек, О.П. Мешик, В.В. Цыганок
(БПИ, г. Брест)

Строительство и эксплуатация крупных промышленных, сельскохозяйственных, энергетических и водохозяйственных объектов должны осуществляться с учетом гидролого - климатических и гидрогеологических условий как физико - географического региона, в целом, так и, собственно, зоны промышленных площадок или осваиваемых территорий.

Гидролого - климатическое районирование территории Полесья дает возможность определить место СЭЗ "Брест" в физико - географическом комплексе Русской равнины, а результаты тепловоднобалансовых исследований - вскрыть механизмы влияния (взаимовлияния) природного комплекса на СЭЗ "Брест" и наоборот. Изучив естественную увлажненность Брестского Полесья и вскрыв эти