

# ГОРЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ В СПУТНОМ ПОТОКЕ АЗОТОСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА

Евсеев Н.С.<sup>1,2</sup>, Зиатдинов М.Х.<sup>1</sup>, Романдин В.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский государственный университет

<sup>2</sup> Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН

evseevns@gmail.com

Горение и взрыв

2020

В работе представлено исследование горения порошков металлов в режиме спутной фильтрации. В рамках исследования металлических порошков в работе рассмотрен порошок хрома. Исследование горения хрома обосновано его высокой температурой плавления ( $\sim 1900^\circ\text{C}$ ) при сравнительно низкой экзотермичности ( $\text{Cr}_2\text{N}$   $T_{\text{ад.}} = 1287^\circ\text{C}$ ;  $\text{CrN}$   $T_{\text{ад.}} = 2050^\circ\text{C}$ ), что позволяет исключить влияние плавления исходного порошка и продуктов синтеза на процесс фильтрации. Экспериментальное исследование процесса фильтрационного горения в условиях принудительной фильтрации осуществлялось на лабораторном СВС-реакторе, принципиальная схема которого представлена на рисунке. В качестве исходных материалов были использованы порошки хрома гидридно-кальциевого марки ПХ1С дисперсностью  $< 80$  мкм. Размер образцов был постоянен:  $d = 16$  мм,  $h = 50$  мм.

Предварительные опыты показали, что порошки хрома в состоянии поставки обладают низкой пористостью, затрудняющей процесс горения. При подаче газового потока в реактор, такие порошки сильно уплотнялись, затрудняя процесс фильтрации. Для увеличения пористости насыпки порошка хрома в настоящей работе использовалось два подхода. Суть первого – удаление мелкой фракции, с получением порошка дисперсностью  $\delta = 63$ – $80$  мкм. В другом случае исходный порошок хрома ( $\sim 80$  мкм) гранулировали с использованием поливинилового спирта и получением гранул  $\delta = 500$ – $1000$  мкм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта «Перспектива» № 19-38-60036.

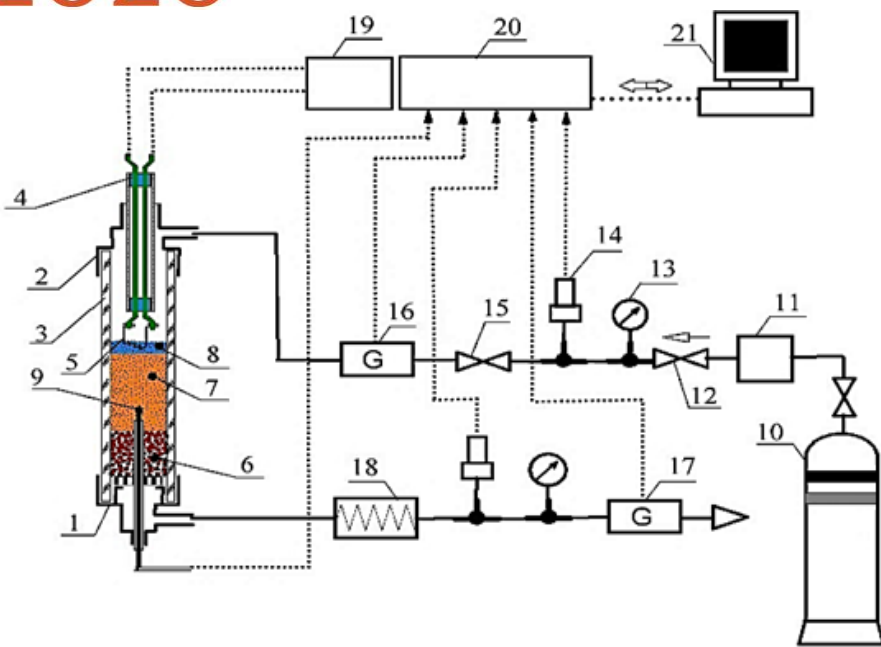
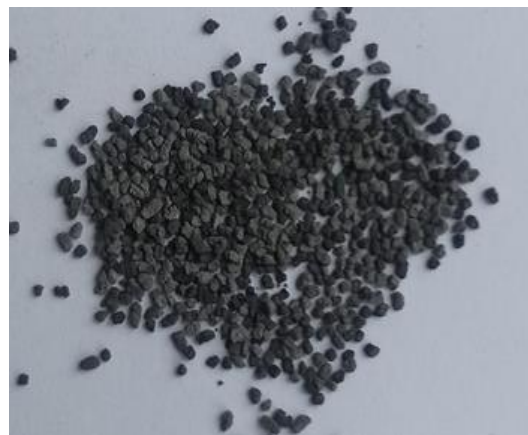
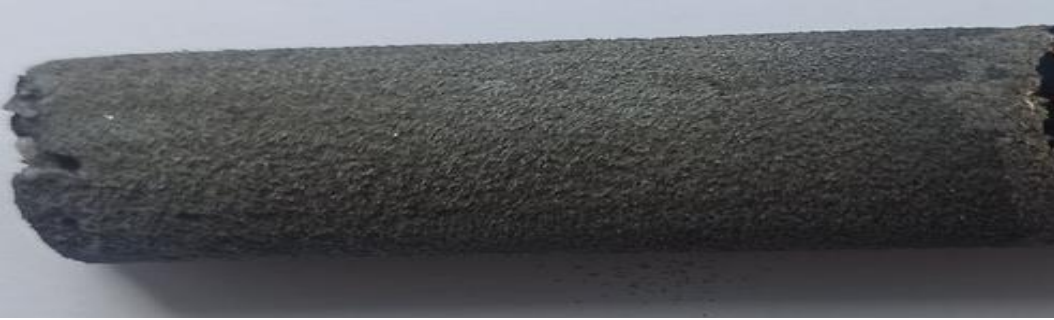


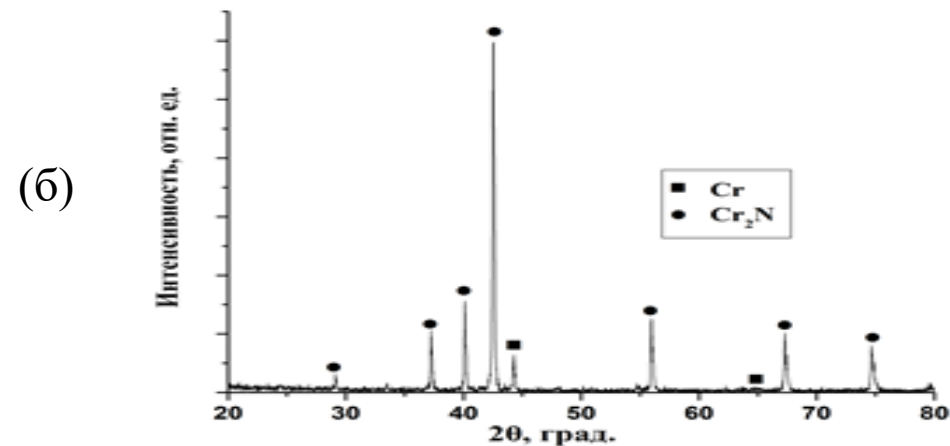
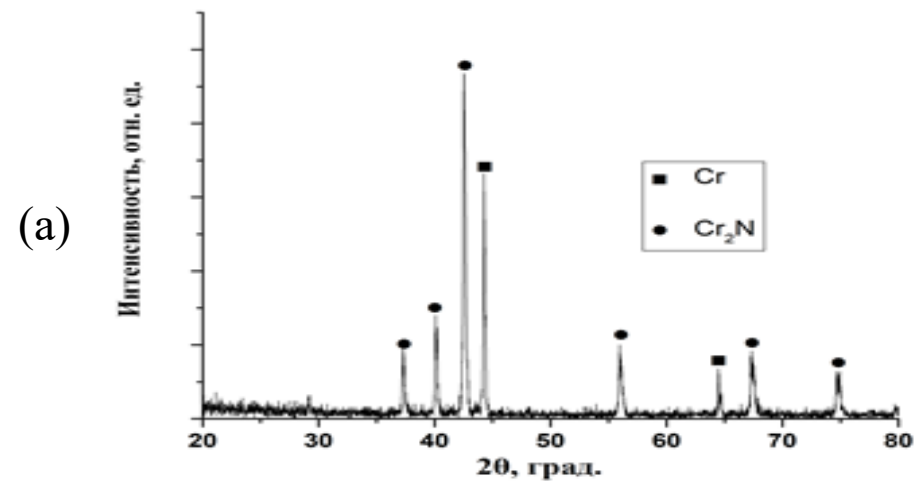
Схема экспериментальной установки для изучения горения металлов в условиях принудительной фильтрации. Установка состоит из 3-х основных узлов: камеры горения (1-9), системы подачи газа (10-18) и системы регистрации параметров горения (19-21).



Внешний вид продуктов горения

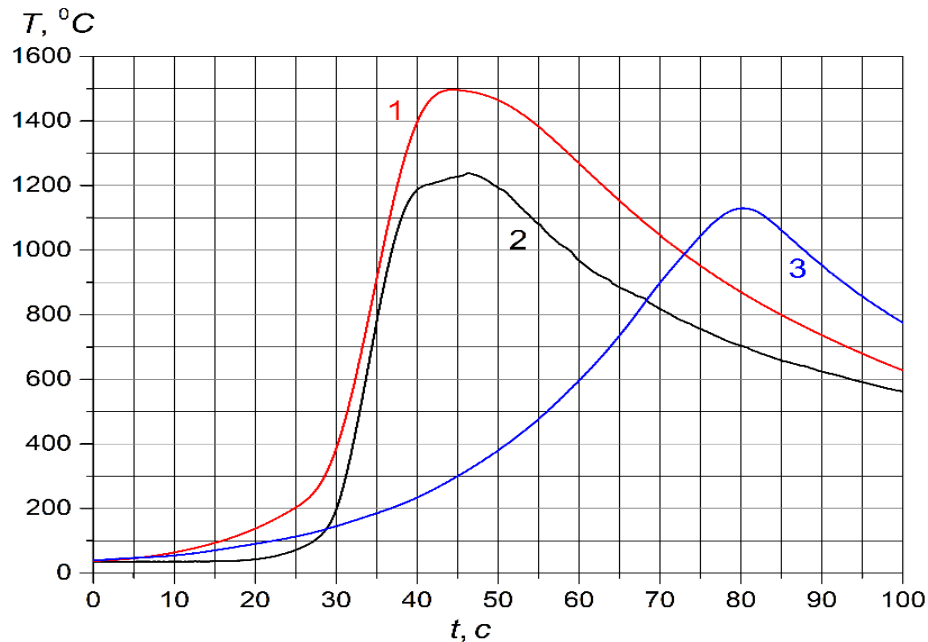
И в случае сжигания порошка хрома, и в случае сжигания гранулированного хрома, продукты горения сохраняют исходную структуру. Синтезированные образцы  $\text{Cr}_2\text{N}$  представляют из себя легкоразрушимый спёк серого цвета. Измельчение продуктов горения приводит к получению частиц исходного размера.

Был изучен фазовый состав продуктов горения. Для примера представлены рентгенограммы продуктов горения при сжигании порошка (а) и гранул (б) хрома в режиме спутной фильтрации при расходе газа  $12 \text{ см}^3/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$ ,  $[\text{Ar}] = 12,8\%$ . При этом были обнаружены фаза нитрида  $\text{Cr}_2\text{N}$  и незначительное содержание фазы хрома  $\text{Cr}$ .



Рентгенограммы образцов, полученных в результате горения хрома в проточном реакторе при  $q=12 \text{ см}^3/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$ ,  $[\text{Ar}] = 12,8\%$

Добавка инертного аргона в азот существенно влияет на процесс горения. Количество аргона в азото-аргонной смеси оказывает наиболее сильное влияние не только на скорость и температуру горения хрома, но и на структуру волны горения, проявляющуюся в форме температурных профилей.

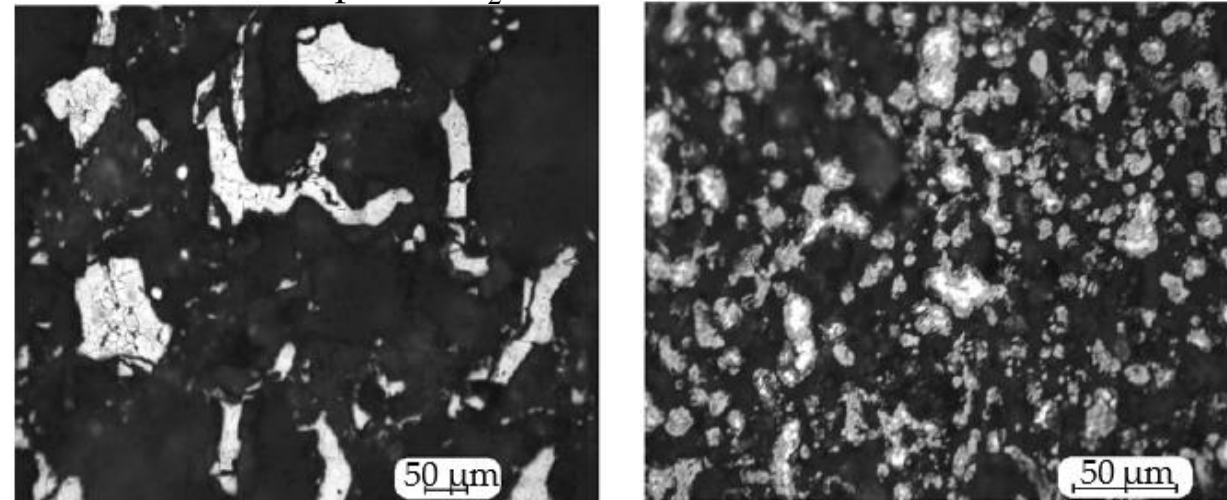


Профили температуры при горении гранул хрома в потоке азото-аргонной смеси с различным содержанием аргона;  
 1 – [N<sub>2</sub>]=100 масс. %; 2 – [Ar]=12,8 масс. %; 3 – [Ar]=24 масс. %

Установлено, что при горении хрома вследствие отсутствия области догорания и стремительного охлаждения продуктов горения набегающей газовой смесью, продукты синтеза в своем составе не содержат моонитрид CrN, который образуется в условиях естественной фильтрации в реакторе высокого давления, что говорит о качественных отличиях продуктов горения, полученных в условиях естественной и спутной фильтрации. Таким образом, показана принципиальная возможность получения нестехиометрического нитрида Cr<sub>2</sub>N различного состава при горении хрома в потоке азотосодержащего газа в условиях спутной фильтрации. Режим принудительной спутной фильтрации позволяет реализовать самораспространяющийся высокотемпературный синтез в системе Cr–N<sub>2</sub> с использованием грубодисперсных (>50 мкм) частиц порошка и гранул (>500 мкм) хрома при низких давлениях (< 0,2 МПа)

Ниже показана микроструктура образца, полученного в результате горения порошка хрома в спутном потоке азото-аргонной смеси, и образца, азотированного в условиях естественной фильтрации при  $P = 0,2$  МПа.

На снимках видно, что микроструктура частиц, полученных в режиме вынужденного (а) фильтрационного горения, однофазна, в то время как частицы после горения в режиме естественной (б) фильтрации явно двухфазны. Более светлые участки в середине частиц являются фазой Cr<sub>2</sub>N, более темные – CrN



Микроструктура образцов, сгоревших в режиме принудительной (а) и естественной (б) фильтрации.