

СВС-АБРАЗИВЫ: ПРОИЗВОДСТВО, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

А.Г.МЕРЖАНОВ, академик РАН, директор ИСМАН;
И.П.БОРОВИНСКАЯ, д-р хим. наук, проф.; В.К.ПРОКУДИНА, канд. техн. наук;
Н.С.ПЕСОЦКАЯ, М.А.НАСОНОВА



*Институт структурной макрокинетики
и проблем материаловедения РАН*

Как известно, абразивные материалы делятся на естественные (алмаз, корунд, гранит и кремьен) и искусственные (электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, синтетический алмаз, кубический нитрид бора и др.). Наиболее распространенным природным абразивом является корунд, но его запасы сосредоточены на терри-

тории Казахстана. Алмаз, хотя и добывают в России, но в связи с высокой стоимостью он не находит массового применения при абразивной обработке.

Производство искусственных абразивов связано с большими затратами электроэнергии и в настоящее время сильно сокращено. **Метод самораспространяю-**

щегося высокотемпературного синтеза (СВС) или синтеза при горении позволяет получать различные материалы и изделия, в том числе и абразивы. В статье приведены данные по СВС-абразивам, опубликованные в литературе, а также имеющиеся в базе данных Института структурной макрокинетики РАН (ИСМАН).

Таблица 1

Классификация СВС-абразивов по типам технологий

Оборудование	Сырье (порошки)	Наименование СВС-абразивов (химический состав)
Реакторные, карьерные СВС-абразивы (ТТ-1)		
Реактор	Титан, хром, углерод Оксид титана, алюминий, железо, титан, углерод Оксиды титана, бора, кремния, алюминий, углерод Кремний, алюминий и(или) их оксиды, азот	Карбид титана (TiC) Сложный карбид (TiC-Cr ₃ C ₂) Композит ПШКТ Композит КА-1 (TiC+Al ₂ O ₃) Магнитно-абразивные материалы, марка Ферабраз Композиты оксидные на основе: диборида титана (TiB ₂ +Al ₂ O ₃); (TiB ₂ +Al ₂ O ₃ +SiC) карбида бора (B ₄ C+Al ₂ O ₃); (B ₁₃ C ₂ +Al ₂ O ₃) Сиалоны (Si-Al-O-N)
Карьер	Титан, углерод	Карбид титана (TiC)
Поддон	Оксиды алюминия, циркония, бора, титан	Керамика оксидная (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂ +TiB ₂)
Спеченные СВС-абразивы (ТТ-2)		
Газостат	Карбид кремния, титан, кремний, азот Кремний, алюминий и (или) их оксиды, азот	Керамика черная (Si ₃ N ₄ +SiC+TiN) Сиалоны (Si-Al-O-N)
Прессованные СВС-абразивы (ТТ-3)		
Гидравлический пресс	Титан, хром, углерод, бор Отходы металлообработки, углерод Оксиды титана, бора, кремния, алюминий, углерод	Материалы группы СТИМ Материалы групп САПС, ФормоСАПС Композиты оксидные: (TiB ₂ +Al ₂ O ₃), (TiB ₂ +Al ₂ O ₃ +SiC), (B ₄ C+Al ₂ O ₃), (B ₁₃ C ₂ +Al ₂ O ₃)
Литые СВС-абразивы (ТТ-4)		
Литьевой реактор	Оксиды хрома, алюминий, углерод Оксиды хрома, бора (бор), алюминий Оксиды хрома, титана, бора (бор), алюминий Оксиды хрома, титана, никеля, алюминий	Розовый корунд Al ₂ O ₃ +(Cr-C)O Голубой корунд Al ₂ O ₃ +(Cr-B)O Серый корунд Al ₂ O ₃ +(Cr-Ti-B)O Сложнолегированный корунд Al ₂ O ₃ +(Cr-Ti-Ni-Fe)O

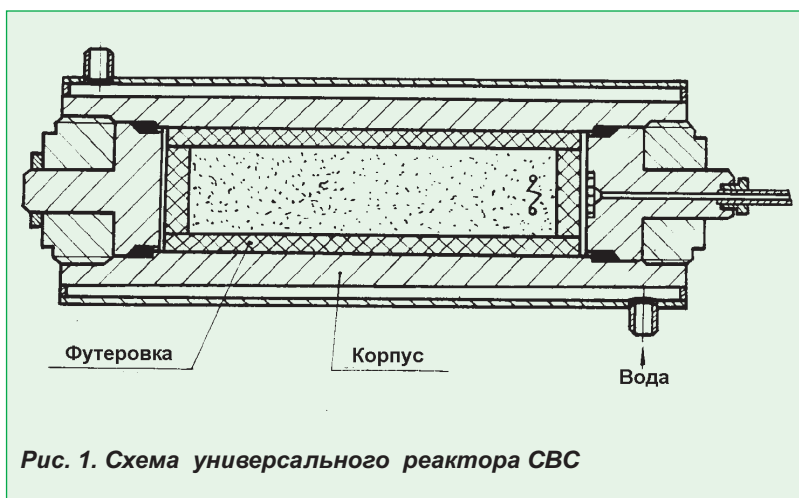


Рис. 1. Схема универсального реактора СВС

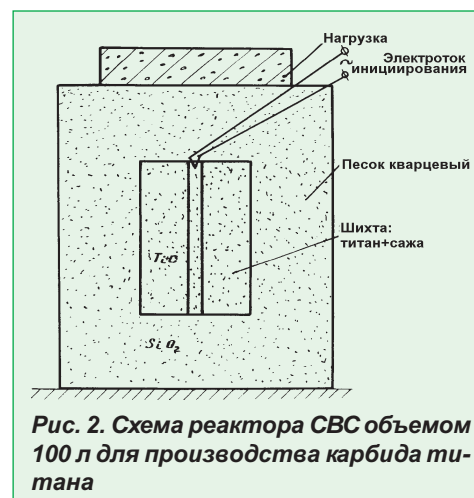


Рис. 2. Схема реактора СВС объемом 100 л для производства карбида титана

КЛАССИФИКАЦИЯ СВС-АБРАЗИВОВ ПО СПОСОБАМ ПРОИЗВОДСТВА

Классифицировать СВС-абразивы удобно в соответствии с разновидностями технологий их производства, а именно по четырем типам технологий (ТТ):

- ◆ ТТ-1 – СВС химических продуктов (порошков);
- ◆ ТТ-2 – СВС-спекание;
- ◆ ТТ-3 – силовое СВС-компактирование (прессование);
- ◆ ТТ-4 – СВС-металлургия или технология СВС-расплавов.

Технологии различаются используемыми для синтеза оборудованием и видом сырьевых материалов, а также рядом технологических особенностей. Классификация СВС-абразивов по типам технологий приведена в табл. 1.

Технология ТТ-1 предусматривает использование нескольких видов оборудования или способов синтеза, каждый из которых имеет патентную защиту. Самым распространенным является универсальный реактор СВС, схема устройства которого показана на рис. 1. Объем реактора 30 л, производительность 10–15 кг/ч. В качестве сырья могут применяться любые экзотермические смеси

из порошков, в частности: смеси металлов с неметаллом и многокомпонентные смеси с участием соединений.

Для работы в промышленности на Закарпатском опытном металлургическом заводе создан другой тип реактора (рис. 2), отличающийся большей безопасностью при синтезе из шихты на основе порошка титана, а также большей производительностью (25–30 кг/ч).

На этом же заводе прошел натурные испытания способ сжигания шихты в карьере, позволяющий увеличивать разовые загрузки шихты до тонны и более. Схема карьерной технологии получения

карбида титана показана на рис. 3.

В рамках технологии ТТ-1 возможен синтез вообще без какого-либо специального оборудования с проведением сжигания в поддоне или графитовых капсулах на воздухе.

При СВС-спекании (ТТ-2) синтез проводят в газостате при давлениях газов до 500 МПа (5000 атм). Производительность технологии зависит от объема газостата, обычно она не велика и составляет около 2 кг/ч. Эта технология наиболее дорогостоящая и ее целесообразно использовать для получения таких абразивных материалов, которые нельзя получить другими разновидностями СВС-технологий, например азотсодержащих материалов.

СВС-прессованием (ТТ-3) получено достаточно большое количество СВС-абразивов, из которых наиболее полно исследованы сплавы типа СТИМ, САПС, ФормоСАПС и композиты оксидные. Схема прессования на автоматических прессах показана на рис. 4.

Прессованию подвергают еще горячую после сгорания в режиме СВС заготовку. Процесс проводят в заданном для каждого вида сплава режиме технологических параметров (время задержки, ско-

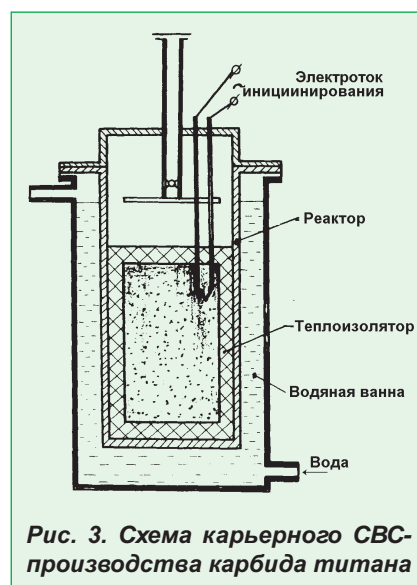


Рис. 3. Схема карьерной СВС-производства карбида титана

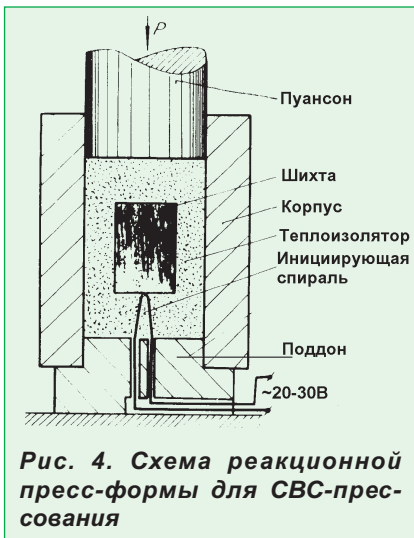


Рис. 4. Схема реакционной пресс-формы для СВС-прессования

заготовки измельчают и рассеивают на абразивные зерна. Производительность СВС-прессования зависит от мощности пресса: для 160-тонного пресса она составляет около 1 кг/ч заготовок, которые затем подлежат измельчению.

В СВС-металлургии абразивов (ТТ-4) в качестве оборудования для синтеза используют универсальный СВС-реактор литейной модификации, отличающийся от порошкового наличием специальной оснастки. Сырьем для литейной технологии служат высокоэкзотермические смеси, способные при горении расплавлять конечные продукты.

В настоящее время к освоенным промышленностью СВС-литым абразивам следует отнести

розовый корунд. Исходная шихта для его производства состоит из оксида хрома, углерода и порошка алюминия. Продукты реакции представляют собой расплав карбида хрома и оксида алюминия, легированного хромом (розового корунда). При остывании под действием удельного веса расплав расслаивается. Более легкая его часть – оксид алюминия – всплывает наверх и застывает в виде шлака, а более тяжелая – карбид хрома – остается внизу; оба слитка легко разделяются. Таким образом, розовый корунд является побочным продуктом при производстве карбида хрома, что несколько сужает масштабы использования этой технологии для производства СВС-абразивов. Произ-

рость прессования, выдержка под нагрузкой) в целях получения оптимальных свойств материала. После прессования и охлаждения

Таблица 2

Основные физико-механические свойства абразивных материалов

Материал	Плотность, $\text{кг/м}^3 \cdot 10^3$	Микротвердость, ГПа	Предел прочности, МПа		Коэффициент теплопроводности при 0°C, Вт/(м·К)
			при изгибе	при сжатии*	
Традиционные абразивы					
Алмаз природный	3,49 - 3,54	100	300	2000/1050	146
Карбид кремния черный	3,2	33 - 36	50 - 150	1500/560	15
Электрокорунд белый	3,95	20 - 21	80 - 90	760/370	20
СВС-абразивы					
ТТ-1 Карбид титана	4,92	31,7	300 - 400	360	36
ТТ-2 Сиалоны Керамика черная	3,12 - 3,19 3,05 - 3,40	16 - 22 11 - 12,76	200 - 700 300 - 430	270 540	15 - 50 16
ТТ-3 СТИМ САПС Композиты оксидные на основе: диборида титана карбида бора	4,9 - 5,3 5,1 - 6,2 4,00 - 4,50 3,40 - 3,54	13 - 23,4 5 - 26 21 - 36,7 24 - 45	700 - 1100 — 520 - 1070 —	790 240 - 380 (для 800/ 630) 550 480	— — — —
ТТ-4 Розовый корунд Голубой корунд Серый корунд Сложнолегированный корунд	4,06 - 4,38 3,90 - 4,05 4,68 - 4,83 3,68 - 3,83	21,5 - 22,5 17,8 - 26,3 21,3 - 25 21 - 31,8	— — — —	320 430 310 520	— — — —
* Для СВС-абразивов предел прочности при сжатии определяли расчетным путем по прочности зерна 160/125 мкм. Для традиционных абразивов результаты таких расчетов приведены в знаменателе дроби, а справочные данные – в числителе					

водительность по розовому корунду в данной технологии составляет 4–5 кг/ч.

Таким образом, с точки зрения производительности и технологичности ТТ-1 является наиболее перспективной технологией для получения СВС-абразивов. С экономической точки зрения особенно привлекателен синтез в карьере и поддоне без использования какого-либо специального оборудования.

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВС-АБРАЗИВОВ

К основным свойствам, характеризующим пригодность материала для использования в качестве абразива, относят: твердость, абразивную способность, прочность абразивного зерна при сжатии, морфологию поверхности частиц – наличие режущих граней, а также самые различные эксплуатационные показатели производственных испытаний.

Для определения абразивной способности порошков их испытывают на приборе «Шлиф-2» по методике ВНИАШ МУ2-036-072-82, где в качестве трущегося тела используют стекло. Прочность зерна определяют по методике его статического разрушения при одноосном сжатии (ГОСТ 9206–80) с последующей обработкой результатов прочностных испытаний на основе статистической теории хрупкой прочности В.Вейбулла. Применение этой теории позволяет получить:

- статистически устойчивые оценки прочности частиц определенной фракции;
- значение структурно-чувствительной характеристики материала – коэффициента (модуля) Вейбулла m (чем он больше, тем выше степень однородности материала по прочности).

Таблица 3

Свойства абразивов, получаемых по технологии ТТ-1

Размер зерна, мкм	TiC в реакторе		TiC в карьере		Al ₂ O ₃ +ZrO ₂ +TiB ₂ в поддоне	
	m	P , кг	m	P , кг	m	P , кг
	800/630	–	–	3,4	2,63	–
630/500	1,6	1,41	3,5	1,95	–	–
500/400	2,4	–	2,5	1,78	–	–
400/315	1,9	0,72	3,3	1,05	–	–
315/250	2,1	0,65	1,7	0,79	5,4	0,91
250/200	2,6	0,58	2,6	0,55	5,4	0,83
200/160	2,4	0,58	2,5	0,55	3,0	0,60
160/125	2,2	0,41	1,9	0,35	3,4	0,60
125/100	2,2	–	1,6	0,35	2,9	0,34

Для наглядности экспериментальные результаты сравнивают с традиционным абразивным материалом – электрокорундом белым (ЭБ), который выплавляют в дуговых электропечах из глинозема. Другие электрокорунды получают: нормальный – восстановительной плавкой из бокситов; монокорунд – из бокситов с последующим выделением монокристаллов корунда; легированные (хромистый, титанистый, циркониевый) выплавляют из глинозема с добавками окиси хрома, титана, циркония.

СВОЙСТВА СВС-АБРАЗИВОВ

Основные физико-механические свойства СВС-абразивов в сравнении со свойствами традиционных абразивов приведены в табл. 2. Как видно из таблицы, СВС-технология позволяет получать абразивы с широким диапазоном свойств.

В одном зерне СВС-абразива, как видно на примере САПС и композита оксидного, где твердость имеет особенно большой разброс, могут сочетаться и твердая фаза, и эластичная связка. Фактически можно говорить о материале с закрепленным абразивом.

Результаты сравнительных испытаний на прочность абразивно-

го зерна некоторых СВС-абразивов, получаемых по технологии ТТ-1, приведены в табл. 3.

Из таблицы видно, что карьерные порошки карбида титана близки по прочности к порошкам реакторным. Увеличение массы загрузки с 50 до 300 кг при синтезе в карьере и использование отходов титановой губки вместо титанового порошка не ухудшают структурно-прочностных характеристик (коэффициент Вейбулла m) конечного продукта, при этом синтез в карьере обеспечивает получение более крупного зерна (до 1000 мкм). Обращают на себя внимание большие численные значения коэффициента Вейбулла ($m = 5,4$) для керамики оксидной, получаемой на воздухе в поддоне, что характеризует высокую однородность этого материала и перспективность для применения в качестве абразива.

Высокие абразивные свойства показывают реакторные композиты на основе диборида титана и карбида бора. Абразивная способность (рис. 5) и прочность зерна этих композитов выше, чем у аналога – ЭБ для всех рассматриваемых зернистостей. Состав композитов – механическая смесь тугоплавкого соединения и оксида, причем оба компонента смеси обладают повышенной микротвер-

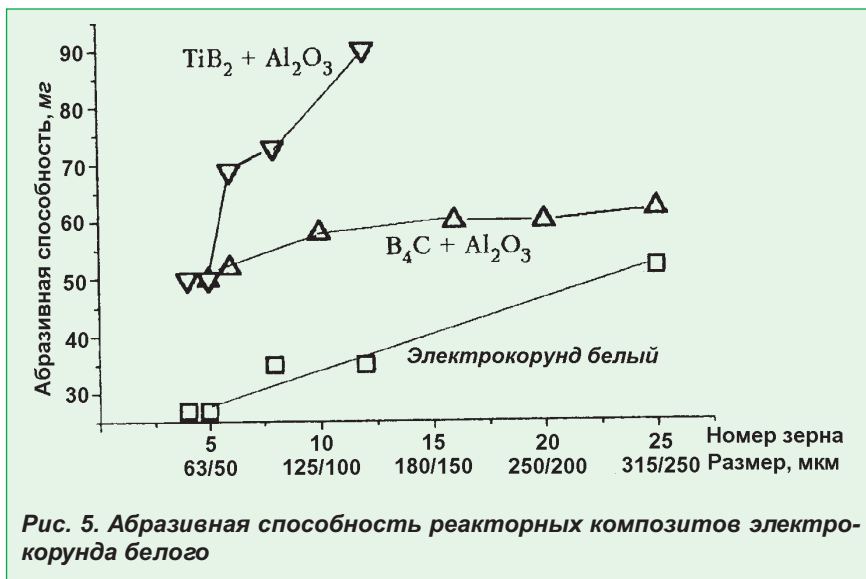


Рис. 5. Абразивная способность реакторных композитов электрокорунда белого

Таблица 4

Результаты испытаний СВС-абразивов по технологиям ТТ-2 и ТТ-1

Размер зерна, мкм	Керамика черная (ТТ-2)		Сиалон			
			в газостате (ТТ-2)		в реакторе (ТТ-1)	
	<i>m</i>	<i>P</i> , кг	<i>m</i>	<i>P</i> , кг	<i>m</i>	<i>P</i> , кг
630/500	—	—	2,1	1,20	—	—
500/400	—	—	2,5	0,74	1,8	1,7
400/315	1,92	1,68	2,3	0,52	3,0	0,45
315/250	2,42	1,31	2,4	0,41	2,4	0,42
250/160	2,95	0,61	1,9	0,31	—	—

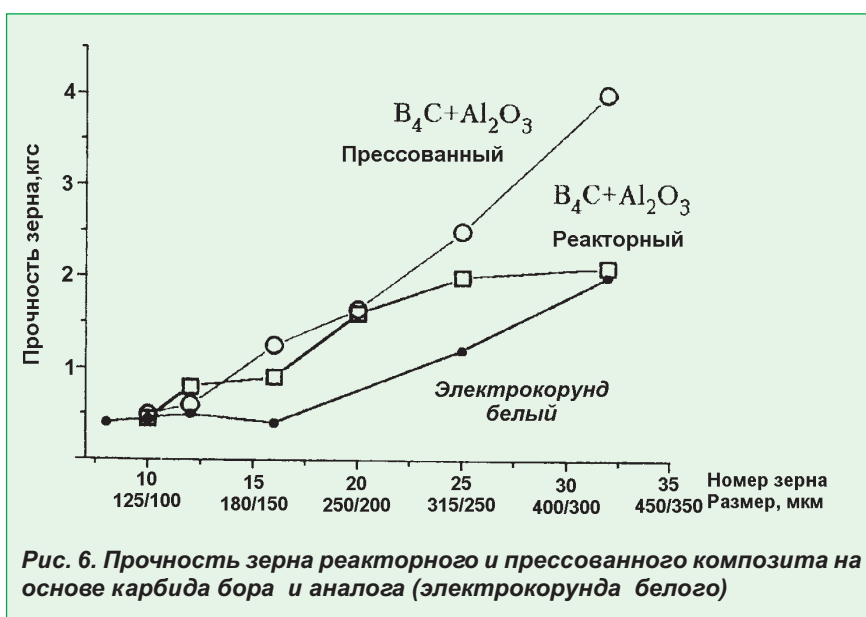


Рис. 6. Прочность зерна реакторного и прессованного композита на основе карбида бора и аналога (электрокорунда белого)

достью по сравнению с чистыми соединениями.

Технология ТТ-2 по своей сути близка к традиционному методу реакционного спекания в печах. При СВС-спекании компактный продукт образуется за меньшие промежутки времени, при более высоких давлениях реагирующего газа и более высоких температурах, что обеспечивает получение компактных материалов на основе таких трудноспекаемых элементов, как кремний, алюминий и бор. Спеченные СВС-абразивы особых преимуществ не имеют, что видно на примере сиалона (табл. 4). Прессованные СВС-абразивы (ТТ-3) отличаются от других СВС-абразивов более высокими значениями прочности зерна. Один и тот же по составу прессованный композит имеет более прочные зерна, чем получаемый в реакторе, и эта разница увеличивается с ростом зерна (рис. 6). С крупными зернами (400/300 мкм) реакторный композит приближается к аналогу – ЭБ, а прессованный, наоборот, значительно увеличивает свою прочность.

Самую высокую прочность зерна имеют прессованные СВС-абразивы из групп: СТИМ – синтетический твердый инструментальный материал (до 35 кгс для зерна 1000/800 мкм, см. рис. 7) и САПС – синтезированный абразивно-порошковый сплав на основе карбида титана (220 кгс для зерна 3500/3000 мкм).

Помимо указанных основных свойств абразивных материалов, на практике пользуются и другими качественными и количественными характеристиками. Так, для супер-крупных формованных абразивных зерен из синтезированных абразивно-порошковых сплавов (ФормоСАПС), помимо традиционного параметра – статической прочности зерна при

раздавливании, в Электростальском филиале Московского института сталей и сплавов оценивали также и прочность зерна при изгибе (табл. 5). В одних и тех же условиях испытаний зерна ФормоСАПС имели значительное преимущество по сравнению с зернами традиционного абразива ЭБ.

Разнообразные СВС-корунды, получаемые по технологии ТТ-4 (розовый, голубой, серый и сложнелегированный), близки между собой по прочности зерна и однородности материала (коэффициенту Вейбулла), как это видно в табл. 6. При сравнении голубого корунда с ЭБ в диапазоне размеров зерен 80/63 – 800/700 мкм установлено превосходство СВС-корунда и по прочности зерна, и по абразивной способности.

Микроскопическими исследованиями структуры и морфологии поверхности зерен СВС-корунда установлено, что большинство зерен довольно изометричны, с сильно развитым рельефом поверхности. Без общей огранки для зерен СВС-корунда характерно наличие острых кромок и выступов. Характерными для рельефа поверхности зерен являются ступени и выход граней ромбоэдров. Поверхность разлома имеет острые грани, которые возобновляются при хрупком разрушении.

Другой характеристикой, которую можно отнести к эксплуатационным параметрам, является работоспособность абразива или зависимость абразивной способности от времени работы абразивов (табл. 7). В течение всего времени работы (60 мин) съем СВС-абразивом (или его абразивная способность) увеличивается, а съем электрокорундом белым уменьшается уже через 30 мин, что свидетельствует о более высокой работоспособности СВС-абразива.

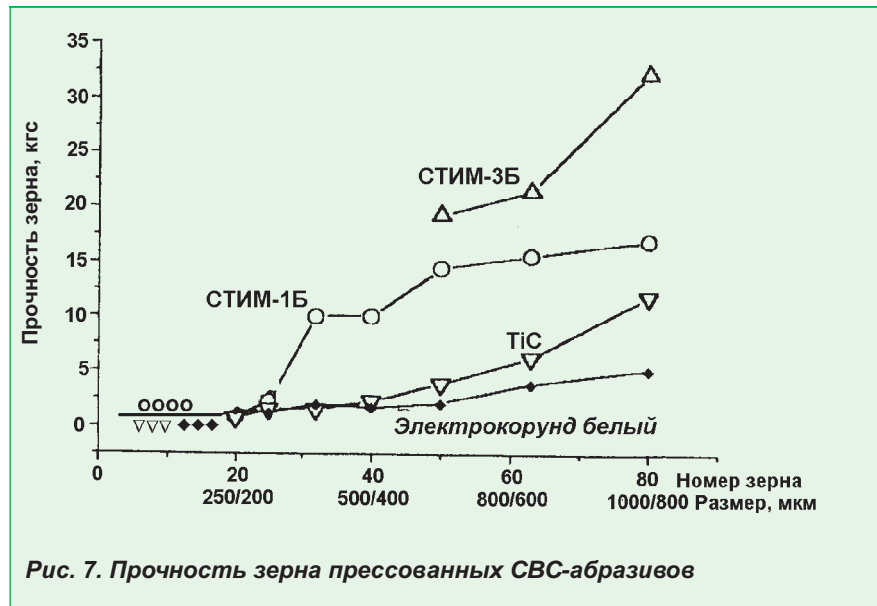


Рис. 7. Прочность зерна прессованных СВС-абразивов

Таблица 5

Физико-механические свойства абразивного зерна 1250/1000 мкм из сплавов ФормоСАПС и ЭБ

Параметр	ФормоСАПС 5Э	ФормоСАПС 8Э	Аналог ЭБ
Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/мм ²)	1220 - 1500 (122 - 150)	970 - 1450 (97-145)	220 (22)
Прочность единичного зерна при сжатии, кгс	120 - 160	130 - 190	40

Таблица 6

Свойства СВС-корундов, получаемых по технологии ТТ-4

Размер зерна, мкм	Розовый	Голубой	Серый	Сложнелегированный
Прочность зерна, кгс				
800/630	5,80	4,48	–	3,50
630/500	3,16	2,56	2,69	2,63
500/400	2,14	2,00	1,20	1,70
400/315	1,41	1,08	1,20	0,95
315/250	1,15	0,85	0,83	0,83
250/200	0,69	0,73	0,58	–
200/160	0,69	0,55	0,49	0,65
160/125	0,37	0,49	0,35	0,59
Коэффициент Вейбулла (m)				
800/630	2,3	3,2	–	1,7
630/500	3,3	3,3	2,3	1,8
500/400	2,0	3,3	2,9	1,6
400/315	2,0	1,6/3,7	2,1	4,8
315/250	2,4	3,1	2,5	3,4
250/200	3,2	3,2	3,4	0,7
200/160	2,5	4,0	2,6	3,3
160/125	2,7	2,4	2,9	3,3

Таблица 7

Работоспособность СВС-абразива и ЭБ
(размер зерна 160/125 мкм)

Время, мин	Съем, мг	
	Композит прессованный $TiB_2+Al_2O_3+SiC$	Электрокорунд белый 25А
1	37	32
3	66	67
5	85	69
10	98	90
15	102	101
30	125	93
60	150	94

ПРИМЕНЕНИЕ СВС-АБРАЗИВОВ

Возможность широкого использования в технике продуктов СВС в качестве искусственных абразивов впервые была показана на примере реакторного карбида титана. На основе классифицированных по зернистости порошков СВС-карбида титана в промышленности серийно в течение ряда лет по совместной разработке ИСМАН и ОКТБ Института проблем материаловедения (ОКТБ ИПМ) Академии наук Украины выпускались абразивные пасты марок КТ и КТИОЛ.

В абразивных пастах применяются шлифпорошки и тонкие микрошлифпорошки, которые наполняют органическим связующим. Пасты используют для шлифования и доводки деталей из черных и цветных металлов вместо паст на основе традиционных абразивов. Применение паст в промышленности дало большой экономический эффект благодаря экономии алмазов при замене алмазо-содержащих паст.

Высокая эффективность применения СВС-карбида титана в пастах связана, как было установлено электронно-микроскопическими исследованиями, с морфологией поверхности частиц карбида титана. Зерна имеют острые углы между гранями и малые радиусы округления вершин. Зерна мелких фракций представляют собой монолитные частицы с довольно гладкой поверхностью. Кроме общей огранки, для зерен характерно наличие дополнительных мелких острых вершин, которые образуются при разрушении зерен и активно участвуют в процессе микрорезания.

К настоящему времени номенклатура абразивных материалов и изделий на основе карбида титана значительно расширилась. Так, на предприятиях Алтайского региона по разработкам Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова (АГТУ) изготавливают и применяют шлифовальные и полировальные круги на бакелитовой и вулканической основах прямого профиля

Таблица 8

Результаты испытания шлифовальных кругов

Материал круга	Удельный расход абразива, отн. ед.	Шероховатость обрабатываемой поверхности, мкм
СВС-розовый корунд	0,83	1,2±0,12
Электрокорунд белый 24А	1,00	1,6±0,10

типа ПП 150x20x32. Круги обеспечивают безопасную работу при скоростях резания не менее 35 м/с.

СВС-композиционные шлифовальные порошки на основе карбида титана ПШКТ (также разработка АГТУ) хорошо зарекомендовали себя при обработке камней, минералов и строительных материалов. Частицы композиционных порошков размером 40 – 160 мкм представляют собой микрорезающие пластины, содержащие дисперсный карбид титана и сложные карбиды, распределенные в твердосплавной легированной матрице. В процессе использования частицы не разрушаются, размер фракции сохраняется.

Порошки оксидной керамики $Al_2O_3+ZrO_2+TiB_2$, получаемые в поддоне на воздухе, прошли испытания во ВНИИ технического стекла. Как уже отмечалось, эти порошки характеризуются высокой степенью однородности материала по прочности и устойчивостью прочностных характеристик в процессе эксплуатации. Морфологически это проявляется в более гладком рельефе поверхности частиц. Для абразивов с подобными структурно-прочностными свойствами чрезвычайно важно найти технологии, в которых эти свойства дают максимальный эффект. Такой областью использования СВС-оксидной керамики явилась тонкая обработка – доводка стекла.

С использованием литых СВС-абразивов (корундов) в промышленных условиях на самарских предприятиях по совместной разработке ИСМАН и Куйбышевского политехнического института (КПИ) (г. Самара) изготавливались и применялись абразивные круги, бруски и другой шлифовальный инструмент. Сравнительные испыта-

Таблица 9

Результаты применения СВС-абразивов, разработанных ИСМАН, в том числе совместно с другими организациями

СВС-абразив (соразработчик)	Область применения	Эффективность применения
СВС-абразивы, разработанные ИСМАН		
Карбид титана: реакторный, карьерный	Полирование и доводка черных и цветных металлов и их сплавов пастами КТ	По сравнению с алмазными пастами повышает производительность доводки на 150%, увеличивает чистоту на 1 - 2 класса и стойкость обрабатываемых деталей в 1,5 - 2 раза
Сложный карбид TiC-Cr ₃ C ₂	В пастах КТИОЛ для финишной обработки металлооптики	Замена алмазных и эльборовых порошков
Диборид титана	Наполнители алмазных паст и шлифовальных кругов	Сокращает время обработки в 3 - 5 раз, частично заменяет алмазные абразивы
Нитрид титана	Полировальный инструмент для текстильной промышленности	Сокращает время полирования на 30 - 40%
Розовый корунд	В отрезных и шлифовальных кругах	Заменяет эльбор
Карбид бора магнийтермический В ₄ С	Абразивные субмикropорошки (1,0 - 0,1 мкм), сверхтонкая доводка и полирование поверхностей изделий, при обработке полупроводниковых материалов	Полирует на уровне алмазной пасты. Себестоимость в 3 - 5 раз ниже электротермического карбида бора
Композиты оксидные реакторные	Универсальные наполнители в абразивных кругах и пастах для суперфинишной обработки	Заменяют алмазосодержащие наполнители
Керамика оксидная	Доводка стекла	Чистота обрабатываемой поверхности 11 класса. Замена алмазов
СВС-абразивы, разработанные ИСМАН совместно с другими организациями		
Ферабраз (ОКTB ИПМ АН Украины)	Магнитно-абразивная обработка	Повышает режущую способность на 10 - 20% по сравнению с аналогом печного синтеза
Композит КА-1 (ОКTB ИПМ АН Украины)	В качестве наполнителя шлифовальных алмазных кругов на бакелитовой связке	Уменьшает износ алмазных кругов
Композиты из стружки титана (КПИ, г. Самара)	В качестве наполнителя шлифовальных алмазных кругов	Превосходят карбид титана по абразивной способности в 2 - 3 раза
Композиты ПШКТ (АГТУ, г. Барнаул)	Для высокопроизводительного шлифования отделочных камней, минералов и строительных материалов	Превосходят промышленные марки корунда по абразивной способности в 2 - 5 раз
СТИМ из отходов (НУЦ СВС при МИСиС)	В зачистных кругах для обработки металлопроката	Повышает стойкость кругов до 5 раз
САПС 1, САПС 2, САПС 8 (магнитные) (ЭФ МИСиС, г. Электросталь)	В зависимости от зернистости: для зачистки окалины с проката, удаления облоя; на операциях чистового шлифования; при суперфинишировании	Позволяют проводить магнитную сепарацию отходов после шлифования никелевых и других цветных сплавов
САПС 3, САПС 4 (электропроводные) (ЭФ МИСиС)	В абразивных кругах для чистового шлифования, в профильных абразивных головках (размер зерна 100 - 800 мкм), в брусках для суперфиниширования (7 - 40 мкм)	Заменяют шлифовальные головки, изготовленные в Германии и Чехословакии, абразивные бруски японского производства
ФормоСАПС (магнитный) (ЭФ МИСиС)	В шлифовальных кругах для зачистки металлопроката	Повышает производительность зачистки в 2 раза, увеличивает коэффициент шлифования в 1,5 - 3 раза (в сравнении с циркониевым электрокорундом)



Рис. 8. Слёк литьевого СВС-розового корунда и шлифовальный инструмент из него (круги, бруски, кольца)

ния шлифовальных кругов зернистостью 25 П на керамической связке на режимах обработки стали твердостью 58 – 62 HRC показали преимущество кругов из СВС-корунда по сравнению с кругами из ЭБ (табл. 8). На рис. 8 показаны шлифовальные круги из розового корунда.

Большой интерес в технике вызывают СВС-абразивы, получаемые компактированием, в частности, материалы групп: СТИМ, САПС, ФормоСАПС, представляющие собой совместные разработки ИСМАН, Научно-учебного центра СВС при МИСиС и Электростальского филиала МИСиС (ЭФ МИСиС). Высокая прочность зерна этих СВС-абразивов обеспечивает широкие перспективы их применения в самых различных инструментах: брусках, кругах и при обработке свободным зерном. Зерно получают дроблением заготовок.

Суперкрупные абразивные зерна из этих материалов (1000 – 5000 мкм) используют для изготовления обдирочных зачистных кругов. В сравнении с зарубежными аналогами эти круги показывают повышение коэффициента шлифования примерно в 3 раза. Инструмент из более мелких абразивных зерен (100 – 800 мкм)

применяют на операциях чистового шлифования и суперфиниширования. Инструмент электропроводен и магнитен. Использование специальных связок обеспечивает получение магнитно-мягких (САПС 2) и магнитно-твердых (САПС 8) свойств. Магнитные свойства позволяют ориентировать зерна в круге. Зерно обладает изометрической формой и не требует овализации. Зерно мелких фракций (50 – 630 мкм) применяют для шлифования поверхностей, если требуется шероховатость поверхности не ниже 8 – 10 класса. Эти материалы интересны тем, что в качестве исходного сырья для их производства используются отходы шлифования и резания металлов и твердых сплавов.

Результаты применения СВС-абразивов в различных областях техники обобщены в табл. 9.

Исходя из анализа свойств и опыта применения СВС-абразивов, авторы попытались определить зернистость, которая позволяет полнее всего реализовать преимущества конкретных СВС-абразивов или, другими словами, зернистость, рекомендуемую для наиболее эффективного использования того или иного СВС-абразива.

Так, установлено, что могут использоваться прессованные материалы марок СТИМ, САПС, ФормоСАПС любых зернистостей, но предпочтительнее все-таки материалы с крупными зернами (шлифзерно) размером 5000 – 1000 мкм. В прессованном и карьерном карбидах титана эффективны области средних размеров зерен (900/800 – 630/500 мкм).

Как реакторные композиты оксидные, так и прессованные (последние более эффективны) рекомендуются для использования в

виде шлифзерна (630/500 мкм) и шлифпорошков (63/50 мкм).

Реакторные абразивы: карбид титана, сложный карбид и карбид бора весьма успешно могут работать в виде микрошлифпорошков и тонких микрошлифпорошков в пастах и в свободном зерне.

Перспективными СВС-абразивами, на наш взгляд, могли бы стать композиты оксидные, получаемые по карьерной технологии. Этот способ позволил бы объединить важные технико-экономические показатели производства, а именно: дешевое оксидное сырье, высокую производительность и высокие абразивные свойства.

Применение карьерного варианта технологии в сочетании с дешевым сырьем (отходами металлообработки) весьма перспективно для производства СВС-абразивов.

Таким образом, благодаря технологии СВС получен довольно большой перечень новых абразивных материалов с высокими характеристиками: твердостью и прочностью зерна, абразивной способностью. Из ряда материалов изготовлен абразивный инструмент (круги, бруски, пасты), который успешно прошел промышленные испытания. Поиск новых СВС-абразивов и более глубокое изучение их свойств могут быть продолжены в самых различных направлениях. Технология СВС позволяет влиять на свойства абразивного материала при его получении. Однако уже сейчас можно сказать, что реализация СВС-абразивов в промышленности дает возможность повысить эффективность абразивной обработки различных материалов, включая чугуны, легированные стали, цветные металлы и камень.