

УДК 621.92

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ ИЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

М. П. КУПРЕЕВ, Е. Н. ЛЕОНОВИЧ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»,
Республика Беларусь*

Введение

Технический прогресс и эффективность производства в современном машиностроении неразрывно связаны с широким применением новых видов абразивных материалов и инструментов из них. Одним из таких материалов является синтетический материал на основе кубического нитрида бора – эльбор. Применяя абразивный инструмент на основе эльбора, получают оптимальные результаты при шлифовании высоколегированных, конструкционных и инструментальных сталей.

Приобретаемый предприятиями Республики Беларусь шлифовальный инструмент из кубического нитрида бора выпускается в основном в России. Вместе с тем, в Государственном научно-производственном объединении «Государственный научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению» отработана технология изготовления порошков кубического нитрида бора, не уступающих по качеству российским. В связи с этим разработка и исследование абразивного инструмента из производимых в Республике Беларусь порошков кубического нитрида бора является актуальной задачей.

Постановка задачи

Режущие свойства абразивного инструмента, в том числе и из порошков эльбора, напрямую зависят от связки, применяемой для закрепления зерен в рабочем слое. Экономически наиболее выгодно при изготовлении инструмента, предназначенного для операций чистого и доводочного шлифования, использовать органическую связку. Однако в процесс шлифования деталей из относительно вязких материалов (сталей, сплавов, цветных металлов), при высоких рабочих скоростях и подачах в месте контакта инструмента и обрабатываемой детали развивается значительная температура (порядка 1200 °С). Поэтому органическая связка не позволяет использовать основное преимущество эльбора перед алмазом – его термостойкость.

Возможность эффективно использовать все свойства эльбора дает керамическая связка, обладающая высокой температурой плавления, водоупорностью, химической стойкостью, жесткостью и относительно высокой прочностью на разрыв.

Принято считать, что наиболее прочное связывание зерна шлифовального материала керамической связкой обычно достигается на основе взаимодействия при высокотемпературном обжиге инструмента (1200–1300 °С). Однако в настоящее время особенности синтеза и обогащения кубического нитрида бора приводят к тому, что наиболее характерным шлифзерном являются плотные агрегаты, где мелкие кристаллы связаны, как правило, гексагональным нитридом бора. Поэтому использование активно действующих керамических связок нерационально, так как они привели бы к разложению гексагонального нитрида бора и ослаблению прочности его зерен.

Легкоплавкие керамические связки для инструмента из эльбора были разработаны на заводе «Ильич», а также в Государственном научно-исследовательском институте абразивов и шлифования [1], [2] (Российская Федерация). Обладая хорошей смачиваемостью зерен эльбора, они обеспечивают возможность получения значительной прочности инструмента при сравнительно низких температурах обжига (950–1000 °С).

Однако указанные в литературных источниках пределы варьирования концентрации компонентов и элементного состава довольно широки и не позволяют выявить оптимальные составы связок и технологические режимы изготовления на их основе инструмента из порошков кубического нитрида бора. В связи с этим целью исследований являлось изучение свойств легкоплавких керамических связок, а также режимов изготовления на их основе шлифовальных кругов из выпускаемых в Республике Беларусь порошков эльбора. Для повышения эффективности исследований работоспособность экспериментальных образцов шлифовальных кругов определялась их испытанием в условиях производства.

Методы испытаний

Наибольшее значение для производства инструмента из эльбора имеют такие физико-механические свойства керамической связки, как вязкость, термическое расширение, твердость, прочность на изгиб, смачивание эльбора.

Влияние различных оксидов на термическое расширение стекловидных связок и смачивание ими эльбора изучено в работах [3], [4]. Приведенные в них данные учитывались нами при варьировании состава керамической связки.

Для определения вязкости связок чаще всего пользуются следующими методами: методом растекания расплава по плоскости для маловязких связок (при температуре обжига изделий) и методом деформации под нагрузкой – для высоковязких связок. Мы воспользовались методом растекания расплава по горизонтальной поверхности. Он разработан для плавящихся связок Л. Ф. Рентелем и является более точным, простым и удобным [5]. Указанным методом непосредственно определяется не вязкость расплава связки, а растекаемость (текучесть) – величина, обратная вязкости. За растекаемость принимается величина, равная $D/D_0 \times 100 \%$, где D – диаметр основания образца таблетки при заданной температуре, D_0 – исходный диаметр основания образца таблетки (при комнатной температуре).

Микротвердость связки определялась на приборе ПМТ-3 по общепринятой методике при нагрузке 0,15 кг на образцах из отожженной связки с полированной механическим способом поверхностью.

Эксперименты проводились на цилиндрических образцах (таблетках) диаметром 16 мм и высотой 16 мм. Порядок их приготовления включал следующие операции. Вначале в течение 2 часов производилось перемешивание компонентов связки в шаровой мельнице и последующее просеивание через сито с размером ячейки 0,1 мм. Затем просеянная связка слегка увлажнялась водой и из нее способом двухстороннего прессования при давлении 20 МПа формовались экспериментальные образцы. Далее отформованные цилиндрики высушивались и устанавливались на плитки из огнеупорного непористого материала. Предварительно на поверхности этих плиток была нанесена прямоугольная координатная сетка, выполненная с шагом 10 мм. Образцы в строго вертикальном положении размещались в электрической печи марки СНОЛ 1,3.

Повышение температуры в печи, начиная с 300 °С, осуществлялось со скоростью 100 градусов/час, конечная температура – 1100 °С. По мере увеличения температуры цилиндрические таблетки вначале деформировались, а затем постепенно начинали

плавиться и растекаться по огнеупорной плитке. Начало и степень их растекания зависела от состава связки. Их состояние при различных температурах фиксировалось с помощью фотосъемки. Фотографии обрабатывались, и с помощью координатной сетки определялся диаметр основания таблеток при температурах фотосъемки. После достижения в печи температуры 1100 °С она выключалась, и образцы вместе с печью охлаждались до комнатной температуры.

Определение предела прочности связки на изгиб проводилось на малогабаритных образцах размером 5 x 5 x 50 мм на испытательной машине Р-0,5 по схеме, реализующей чистый изгиб в рабочей части образца (диапазон нагрузок от 0 до 980 Н).

Результаты исследования и их обсуждение

Изучались керамические связки, содержащие в шихте (по массе): оксид кремния (60–70 %) и оксид алюминия (20–30 %) в виде порошков различной дисперсности, а также борную кислоту – 15–20 %, фтористый натрий – 3–10 % и соли натрия, калия, лития – в количестве 3–8 % каждой. Борная кислота, фтористый натрий и соли натрия, калия, лития вводились в состав связок как в порошкообразном виде, так и в виде водных растворов.

Известно [1], [2], [5], что снижение температуры плавления достигается введением в керамическую связку оксида лития и фтора. Однако нет сведений о степени их влияния на свойства связки определенного состава. Это обусловило необходимость проведения эксперимента, представленного в таблице. Вначале определены начальные температуры оплавления и растекания связки следующего состава (мас. %): оксид кремния (63 %), оксид алюминия (20 %), борная кислота (15 %), натрий углекислый (12 %) (опыт 1). Этот состав принят за основу и не содержит фтор и оксид лития. Температура начала растекания этой связки достаточно высокая (около 1170 °С), что согласуется с данными литературных источников по связкам аналогичного состава.

Затем из связки был полностью исключен натрий, а вместо него введен литий в виде углекислой соли (опыты 2, 3), или фтористый натрий (опыты 4, 5). В опыте 3 массовое содержание лития в связке соответствовало содержанию в ней натрия в опыте 1.

Затем определено совместное влияние лития и фтора на плавкость связки (опыты 6, 7).

Влияние лития и фтористого натрия на плавкость керамической связки

Номер опыта	Содержание в связке, мас. %			Температура, °С		Разность температур начала растекания и оплавления, °С
	NaHCO ₃	Li ₂ CO ₃	NaF	Начало оплавления образца	Начало растекания	
1	12	–	–	1100	1170	70
2	–	7	–	1095	1105	10
3	–	18	–	1045	1055	10
4	–	–	6	990	1100	110
5	–	–	12	880	930	50
6	–	7	6	810	820	10
7	–	14	12	800	810	10

Установлено, что литий уменьшает температуру плавления связки на 50–100 °С по сравнению с натрием и значительно снижает ее вязкостные свойства. Так, в опытах 1 и 3 количество вводимых в состав связки лития и натрия было одинаковым, а температура оплавления и растекания связки с литием была на 50–100 °С меньше и разность температур начала растекания и оплавления связки составляет 10 °С, а не 70 °С, как в опыте 1 с натрием. Это, по-видимому, обусловлено тем, что ионы лития имеют меньший ионный радиус по сравнению с ионами натрия, поэтому они легче встраиваются в неупорядоченную решетку многокомпонентной стекловидной связки.

Фтор еще в большей степени, чем литий, снижает температуру начала плавления связки. Так в опытах 1 и 4 количество натрия было одинаковым, но присутствие в опыте 4 фтора снизило температуру начала ее оплавления до 990 °С. Но связки с фтором (опыты 4, 5) отличаются более высокой температурой растекания, что характеризует их как более вязкие.

Совместное введение в связку лития и фтористого натрия снижает температуру ее растекания до 800–820 °С (опыты 6, 7). При этом, хотя в опыте 7 указанных компонентов было введено в 2 раза больше, чем в опыте 6, снижение температуры растекания оказалось незначительным. Это свидетельствует о наличии предельной концентрации этих элементов в связке.

Используя полученные данные, для изготовления инструмента из эльбора были выбраны два состава керамической связки, отличающиеся концентрацией углекислого лития и фтористого натрия. Содержание компонентов в них соответствовало составу, указанному в начале раздела. Условно эти связки были названы С10 и С11.

На рис. 1 представлено состояние связок С10 и С11 при различных температурах.

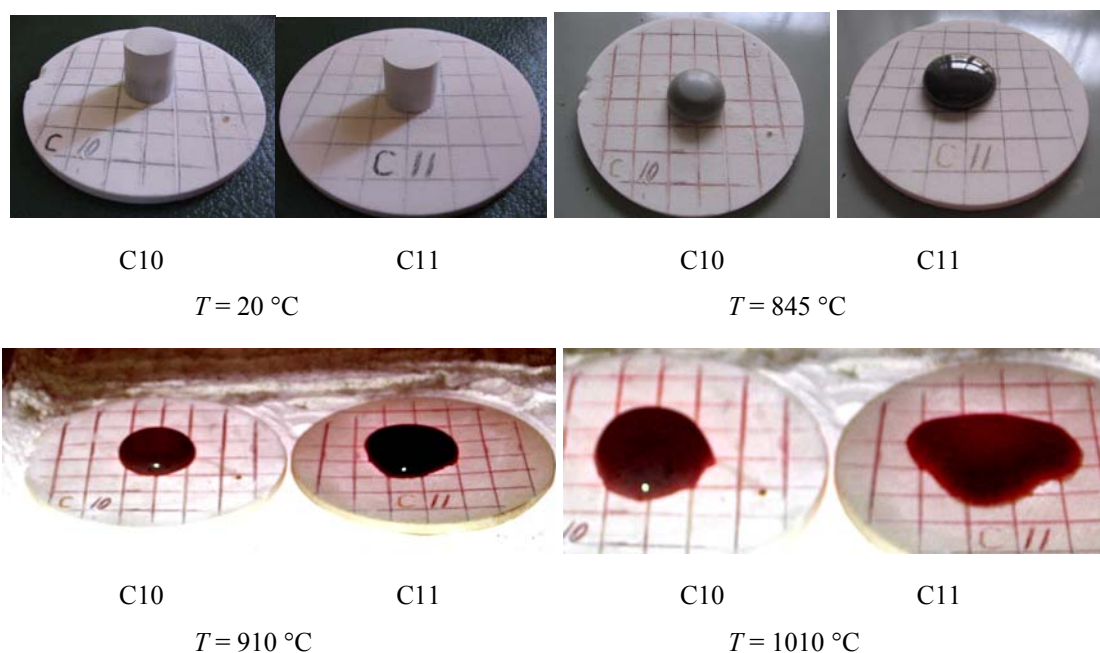


Рис. 1. Состояние керамических связок С10 и С11 при различных температурах в печи

Воспользовавшись полученными результатами наблюдения, была определена зависимость текучести керамических связок С10 и С11 от температуры (рис. 2).

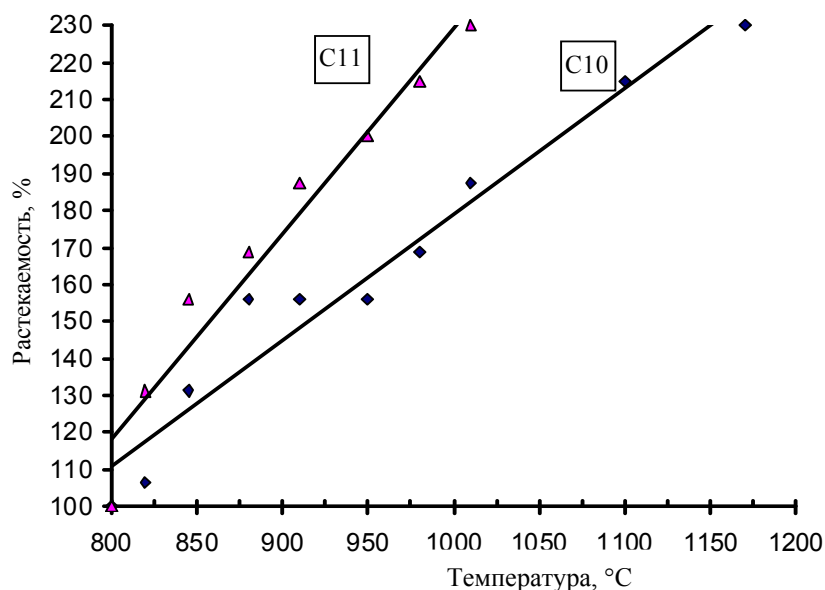


Рис. 2. Изменение текучести связок с повышением температуры обжига

Как видно из рис. 2, связка С11 более легкоплавкая, чем связка С10. В интервале температур 800–1100 °С нарастание текучести происходит быстрее у связки С11 и медленнее у связки С10.

Известно, что абразивные инструменты на плавящихся связках должны обжигаться при тех температурах, при которых их текучесть составляет 150–230 %. С учетом этого из рис. 2 видно, что для связки С11 наиболее оптимальный интервал термообработки изделий должен находиться в пределах 850–1000 °С, а для связки С10 – 1000–1100 °С.

Проведенные исследования позволяют прогнозировать оптимальную температуру спекания шлифовальных кругов из эльбора. Известно, что в эльборовых кругах до 50 % по массе содержится мелкозернистый порошок электрокорунда или карбида кремния. Поэтому в процессе обжига изделий вязкость реакционно-способных связок будет меняться – сначала она должна падать, а затем повышаться за счет обогащения Al_2O_3 (при растворении корунда) и далее, при значительном повышении температуры, может опять падать. Исходя из сказанного, установленное изменение вязкости у чистых связок С10 и С11 (исходного состава) может не отражать действительных значений величины вязкости связки в изделиях при их обжиге. Однако, зная реакционную способность исследуемой связки и изменение ее вязкости с развитием температуры, можно судить о поведении этой связки в процессе обжига шлифовальных кругов. Предполагается, что менее активная связка С10 будет в меньшей степени растворять мелкозернистый электрокорунд, а значит и меньше будет «засаливаться» инструмент на ее основе. Изделия, приготовленные на такой связке, будут менее чувствительны к колебаниям температуры обжига, так как нарастание текучести у этой связки более плавное. Но есть опасность, что она не сможет обеспечить необходимой прочности инструмента, и он может «сыпаться» и разрываться.

Для связки С11 есть опасность «застекловывания» шлифовальных кругов, изготовленных на ее основе, при более высоких температурах их спекания.

Микротвердость связок составляет 4,2–6,5 ГПа, предел прочности при изгибе – 0,07–0,14 ГПа.

На связках С10 и С11 изготовлены экспериментальные образцы шлифовальных кругов типа ПП различных размеров в количестве 60 шт. с 50%-й концентрацией ку-

бического нитрида бора. Использовался порошок эльбора марки ЛКВ 40 зернистостью 40–50 мкм, 50–63 мкм, 63–80 мкм, 80–100 мкм, произведенный в Государственном научно-производственном объединении «Государственный научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению». Температура спекания кругов составляла 1000 °С, продолжительность выдержки при этой температуре – 10 минут. Образцы эльборовых шлифовальных кругов испытывались на ПО «МТЗ». Установлено, что обе связки обеспечивают необходимую работоспособность изготовленного на их основе инструмента. Но инструмент на связке С11 отличается повышенной стойкостью. Это, по-видимому, обусловлено тем, что при 1000 °С связка С11 характеризуется большей текучестью, и это способствует более прочному связыванию и закреплению порошка эльбора в объеме шлифовального круга.

Заключение

Изучены свойства керамической связки, содержащей в шихте (по массе): оксид кремния – 60–70 %, оксид алюминия – 20–30 %, борную кислоту – 15–20 %, фтористый натрий – 3–10 %, а также соли натрия, калия, лития – в количестве 3–8 % каждой. Установлено, что литий уменьшает температуру плавления связки на 50–100 градусов. Фтористый натрий еще в большей степени, чем литий, снижает температуру начала плавления связки. Совместное введение в связку лития и фтористого натрия уменьшает температуру ее плавления до 800 °С.

Определен состав связки, обладающей 230%-й текучестью при 1000 °С и обеспечивающей повышенную стойкость инструмента из кубического нитрида бора. Высокие прочностные и режущие свойства шлифовальных кругов на этой связке подтверждены результатами производственных испытаний.

Литература

1. Эфрос, М. Г. Керамическая связка для инструмента из эльбора / М. Г. Эфрос, В. С. Миронюк, Б. А. Брянцев // Химия и технология силикат. материалов. – Ленинград : Наука, 1971. – С. 17–23.
2. Эфрос, М. Г. Современные абразивные инструменты / М. Г. Эфрос, В. С. Миронюк ; под ред. З. И. Кремня. – 3-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Машиностроение, 1987. – С. 31–34, 76–83.
3. Пашенко, А. А. Взаимодействие алмаза, кубического нитрида бора и графита с расплавами стекла / А. А. Пашенко, Б. М. Емельянов, А. Е. Шило. – Москва : ДАН СССР, 1970. – Т. 190, № 3. – С. 645–647.
4. Цывьян, А. М. Выбор состава связки для абразивного инструмента из электрокорунда / А. М. Цывьян // Стекло и керамика. – 2001. – № 1. – С. 28–30.
5. Любомудров, В. Н. Абразивные инструменты и их изготовление / В. Н. Любомудров, Н. Н. Васильев, Б. Н. Фальковский. – Москва : Машгиз, 1991. – С. 42–51, 126.

Получено 23.10.2008 г.