

Математическая обработка полученных результатов эксперимента и расчета удельных величин высоты микронеровностей относительно радиальной составляющей силы резания позволила построить график в виде ниспадающей экспоненты. Этот показатель можно представить в виде экспоненциальной зависимости и использовать в качестве комплексного критерия оценки стабильности процесса механической обработки чистовым точением относительно его производительности, силовой напряженности и качества обработанной поверхности. С учетом предлагаемого критерия можно оценивать влияние на качество и производительность обработки различных технологических факторов процесса резания, в том числе, связанных с оборудованием и приспособлениями (например, жесткостью технологической системы) и относящихся к геометрическим параметрам инструмента, обрабатываемому и инструментальному материалам, смазочно-охлаждающим технологическим средам, режимам резания.

Перспективны дальнейшие сравнительные исследования стабильности различных процессов механической обработки, как лезвийных, так и абразивных, с использованием предложенного критерия. Как показывают результаты сравнительного анализа высотных параметров шероховатости поверхности деталей из закаленных сталей, износостойких чугунов и других труднообрабатываемых материалов, обработанных шлифованием и точением лезвийными инструментами из поликристаллов СТМ на основе КНБ, их значения очень близки. Показатель удельной шероховатости на единицу радиальной составляющей силы резания при тонком точении с малой площадью сечения среза также можно использовать для оценки способности металлорежущего оборудования обеспечивать требуемую шероховатость обработанной поверхности при малых нагрузках.

Литература

1. Новиков Н. В., Мановицкий А. С., Клименко С. А. Расчет силы стружкообразования при сложнопрофильном точении резцами, оснащенными круглыми пластинами. / Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск – Киев, вып. № 23, 2008. С. 3 – 11.

Поступила 27.05.09.

УДК 621.921

С. А. Кухаренко, канд. техн. наук, **А. Е. Шило**, д-р. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

УПРОЧНЕНИЕ АБРАЗИВСОДЕРЖАЩИХ СТЕКЛОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИСПЕРСНЫМИ ТУГОПЛАВКИМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Methods of regulation of properties of superhard materials with glasscovering are justified and implemented at the expense of use glass-base different chemical composition, regimes of their heat treatment and introduction in the capacity of fillers of refractory oxides Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 .

Введение

Основная задача при разработке композитов из сверхтвердых материалов (СТМ) состоит в создании связующих, способных обеспечивать эффективную работоспособность инструмента, используемого в промышленности при обработке различных материалов.

Рабочий слой инструмента из СТМ можно представить как композиционный абразив-содержащий материал, в котором твердой дисперсной фазой служат зерна алмаза, кубического нитрида бора (сBN), а матричной (связующей) – металлы, полимеры и различные силикатные стекла. Основное требование при разработке таких материалов – прочное закрепление зерен СТМ в связке и в то же время максимальное ее сохранение в условиях эксплуатации. Так как количество и размер зерен СТМ, а также их физико-механические свойства в композиционном материале зависят от условий эксплуатации инструмента, при разработке рабочего слоя большое значение имеет выбор матрицы с определенными физико-механическими и физико-химическими свойствами. Совершенно очевидна потребность в композиционных материалах с наиболее высокими прочностными характеристиками, теплоустойчивостью и наименьшим коэффициентом трения по различным материалам. Однако сочетать в одном материале указанные свойства практически невозможно.

Интересным подходом для практической реализации высказанных соображений является создание на порошках СТМ покрытий, играющих роль переходного слоя между зернами абразива и связки и обладающих высокой адгезией как к поверхности абразива, так и связке, что способствует повышению прочности закрепления зерен абразива в матрице инструмента. На практике широко применяются покрытия, которые формируются из силикатных расплавов. Стеклопокрытия на порошках СТМ должны не только обуславливать высокую износостойкость инструмента из СТМ, но и обеспечивать повышенное качество обрабатываемой поверхности, высокую производительность при обработке вязких материалов, например железоуглеродистых сплавов или твердого сплава со сталью при наличии между ними вязкого припоя, в отличие от инструмента из сBN без покрытия, который образует на обрабатываемой поверхности прижоги, приводящие к браку изделия.

Результаты

При формировании стеклопокрытий на порошках алмаза и сBN наиболее эффективны легкоплавкие силикатные стекла с различной температурой трансформации, расплавы которых обладают высокой смачивающей способностью и адгезией к абразивным порошкам, что является обязательным условием для получения покрытий из расплавов стекол.

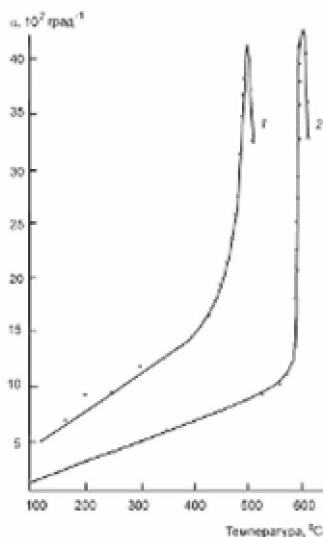


Рис. 1. Зависимости КТП стекла систем $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ (1) и $Na_2O-CaO-B_2O_3-SiO_2$ (2) от температуры

Порошки СТМ со стеклопокрытием представляют собой агрегаты, состоящие из 5–20 зерен, покрытых и связанных между собой стеклом. Небольшие значения краевых углов смачивания ($0 \leq \theta < 90$ град), как правило, обеспечивают высокую кроющую способность и сплошность покрытий. Согласно данным, приведенным в [1], наименьший угол смачивания порошков алмаза ($\theta = 18$ град при температуре 800 °C) и наибольшую работу адгезии имеет натрийборосиликатное стекло системы $Na_2O-CaO-B_2O_3-SiO_2$, вследствие чего его используют для нанесения покрытий на алмазные порошки.

Для сBN таким же условиям отвечает свинцовоцинкборосиликатное стекло системы $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$.

Температура образования однородных абразивно-стеклянных агрегатов различна для разных стекол и зависит от температуры перехода стекла в вязкотекучее состояние. В расплаве образуется достаточное количество активных анионных группировок, способных вступить во взаимодействие с алмазным порошком. Такое состояние для натрийборосиликатного стекла наступает при температуре около 700 °C, для свинцового стекла – около 600 °C. Приведенные

температуры примерно на 100 °С превышают дилатометрическую температуру размягчения T_w соответствующих стекол (рис. 1).

В этой связи температуру T_w можно использовать как одну из характеристик при выборе стекла в качестве покрытия для абразивных порошков, а также как связку при изготовлении инструмента.

Термообработка является наиболее ответственной операцией при нанесении стеклопокрытий, при которой завершаются все физико-химические процессы, обеспечивающие формирование агрегатов с оптимальными физико-механическими характеристиками. Критерием при выборе температуры формирования стеклопокрытий служит прочность агрегатов (разрушающая нагрузка на зерно).

Прочность агрегатов зависит от соотношения прочности кристаллической (порошки СТМ) и связующей (стекло) фаз, а также прочности их соединения в единое твердое тело (адгезии на границе контакта СТМ – стекло). В зависимости от условий работы инструмента в нем используют порошки алмаза или cBN с заданными свойствами, обеспечивающими эффективную обработку материала, т. е. свойства СТМ нельзя изменять для регулирования прочности агрегатов. Одним из способов повышения механической прочности стекловидных покрытий и материалов является введение в них в виде наполнителей тугоплавких дисперсных частиц, тормозящих образование и увеличение микротрещин. Наиболее перспективными наполнителями, дающими положительный эффект в сочетании с расплавами стекол, являются тугоплавкие оксиды (например, Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2) – они не образуют стекол, но при растворении в стеклах не ослабляют, а упрочняют стеклообразную сетку.

Для проверки такого предположения были сформированы агрегаты из порошков алмаза или cBN с отдельными стеклами систем $Na_2O-CaO-B_2O_3-SiO_2$ и $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$, а также их смесей в исходном состоянии и с добавкой в качестве наполнителей тугоплавких оксидов Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 в количестве 5, 10, 15, 20, 30 % (по массе). Удовлетворительное смачивание тугоплавких оксидов Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 ($\theta < 90$ град) расплавами стекол при формировании агрегатов способствует равномерному распределению их дисперсных частиц в стеклянной матрице.

При формировании покрытий на порошки алмаза натрийборосиликатным стеклом и на порошки cBN свинцовоцинкборосиликатным стеклом оптимальная температура термообработки агрегатов составляет 780–800 °С, о чем свидетельствует наибольшая прочность агрегатов (кривая 1 на рис. 2). Дальнейшее повышение температуры термообработки при формировании покрытий нежелательно из-за начинающейся термической деструкции порошков СТМ и снижения их механической прочности.

Сочетание стекол с различной температурой трансформации в указанных системах позволило при создании стеклокомпозитов и нанесении стеклопокрытий на порошки СТМ снизить температуру термообработки на 150–200 °С в зависимости от вида абразива, что способствует существенному снижению энергопотребления и в то же время повышению физико-механических характеристик стеклокомпозитов и стеклопокрытий. За счет использования стеклоосновы различного химического состава прочность агрегатов в 1,5 раза выше, чем сформированных из чистого стекла (кривая 2 на рис. 2). Добавка тугоплавкого оксида ZrO_2 (кривая 3 на рис. 2) еще в 1,5 раза повышает прочность агрегатов из cBN. Для

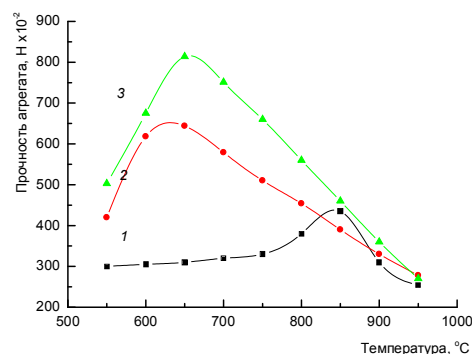


Рис. 2. Зависимости прочности агрегатов для кубонита КР 125/100, изготовленных из стекла системы $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ (1), смеси стекол в системах $Na_2O-CaO-B_2O_3-SiO_2$ и $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ (2) и указанной смеси с добавкой ZrO_2 (3), от температуры

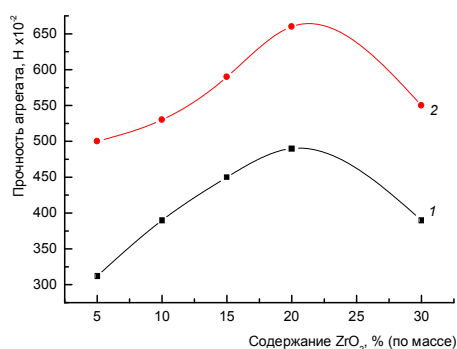


Рис. 3. Зависимости прочности агрегатов для алмазов АС6 125/100 (1) и кубонита КР 125/100 (2), формируемых из смеси стекол в системах $Na_2O-CaO-B_2O_3-SiO_2$ и $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ с добавкой ZrO_2 , от содержания оксида циркония при температуре $600\text{ }^\circ\text{C}$

ляться диффузией продуктов от поверхности раздела фаз. Регулируя диффузию многокомпонентных стекол в системах $Na_2O-CaO-B_2O_3-SiO_2$ и $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ можно регулировать также свойства инструментального композита (прочность материала, удержания зерен абразива и др.) [3]. Продукты растворения оксидов, мигрируя в стекло, воздействуют на его структуру, вызывая изменения в боркремнекислородном каркасе. Зафиксировать эти изменения и проследить за процессом растворения оксидов можно с помощью дифференциально-термического анализа – ДТА (рис. 5).

На кривых ДТА натрийборосиликатного стекла с тугоплавкими оксидами (рис. 5а) наблюдаются два эндотермических эффекта: первый – интенсивный эндоэффект при температуре $120-130\text{ }^\circ\text{C}$ – отвечает за выделение адсорбционной воды, связанной с тонкодисперсностью оксидов, второй – раздвоенный – размягчение натрийборосиликатного стекла и растворение тугоплавких оксидов в расплаве стекла. Продукты растворения оксидов, диффундируя из зоны контакта фаз, взаимодействуют с немостиковыми ионами кислорода и другими составляющими стекла, так как кинетика взаимодействия разных по составу стеклообразующих расплавов связана не только с диффузией отдельных ионов, но и с подвижностью фрагментов анионной матрицы расплава. Введение Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 в натриевосиликатное стекло приводит к уменьшению доли немостикового кислорода, поскольку в этом случае часть ионов натрия связана с тетраэдрами $[MeO_{4/2}]^-$ или октаэдрами $[MeO_{6/2}]^{2-}$ ($Me - Al, Ti, Zr$) и может выйти из стекла лишь в результате ионного обмена. Второй раздвоенный эндотермический эффект свидетельствует о том, что в изученной стеклообразующей системе $Na_2O-CaO-B_2O_3-SiO_2$, наполненной тугоплав-

алмаза указанные закономерности сохраняются такими же, как для сBN, однако прочность агрегатов снижается. Максимальная прочность агрегатов достигается при введении 20 % (по массе) оксида ZrO_2 (рис. 3).

Введение тугоплавкого оксида ZrO_2 повышает прочность агрегатов по сравнению с TiO_2 и Al_2O_3 в 1,3–1,5 раза (рис. 4) и в 3 раза по сравнению с прочностью агрегатов, сформированных из смеси стекол без добавок.

Такое разное поведение наполнителей объясняется различиями во взаимодействии со стеклофазой. Как показано в [2], в смеси двух или более размягченных стекол возникают диффузионные потоки от границы раздела фаз вглубь частиц стекла. В то же время в противоположном направлении – к границе контакта различных стекол – перемещаются микропустоты. Следовательно, процесс растворения тугоплавких оксидов Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , введенных в стеклокомпозиционное покрытие в качестве наполнителей будет опреде-

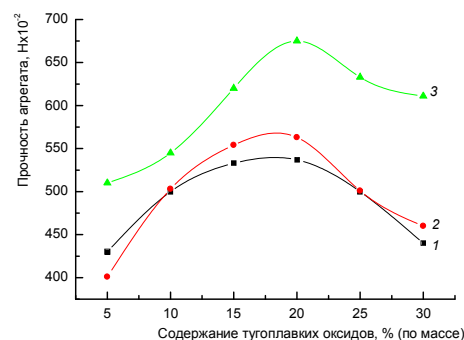


Рис. 4. Зависимости прочности агрегатов для кубонита КР 125/100, формируемых из смеси стекол в системах $Na_2O-CaO-B_2O_3-SiO_2$ и $PbO-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ с добавкой тугоплавких оксидов Al_2O_3 (1), TiO_2 (2), ZrO_2 (3) от их содержания в смеси при температуре $600\text{ }^\circ\text{C}$

кими оксидами, происходит взаимодиффузия компонентов без протекания на их контактной границе химических реакций и образования химических соединений в диффузионной зоне.

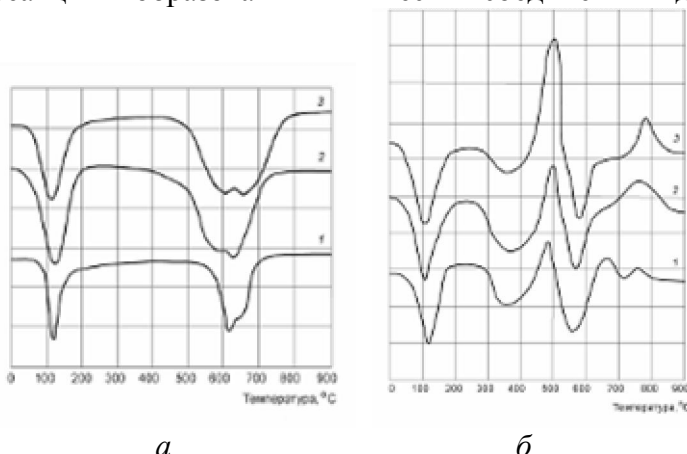


Рис. 5. Кривые ДТА стекол систем $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (а) и $\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (б) с добавкой 40 % (по массе) тугоплавких оксидов Al_2O_3 (1), ZrO_2 (2), TiO_2 (3)

На кривых ДТА свинцовоцинкборосиликатного стекла с тугоплавкими оксидами (рис. 5б) после выделения адсорбционной воды при температуре 130 °С начиная с 440 °С образуется первая кристаллическая фаза – борат свинца ($\text{PbO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$). Весь температурный интервал ниже этой температуры является предкристаллизационным периодом в стекле. Температурный режим предкристаллизационного периода существенно влияет на последующую кристаллизацию стекла и, следовательно, оказывает значительное воздействие на структуру и свойства материала. При температуре 500 °С, соответствующей максимуму основного экзотермического эффекта на кривой ДТА, образуется вторая кристаллическая фаза – ортосиликат свинца ($2\text{PbO}\cdot\text{SiO}_2$) [4].

Введение оксида титана в свинцовоцинкборосиликатное стекло при температуре выше 780 °С приводит к образованию титаната свинца ($\text{PbO}\cdot\text{TiO}_2$), введение оксида циркония – к образованию цирконата свинца ($\text{PbO}\cdot\text{ZrO}_2$), о чем свидетельствует последний экзоэффект на кривых ДТА.

Выводы

Обоснованы и реализованы методы регулирования свойств СТМ со стеклопокрытием за счет использования стеклоосновы различного химического состава, режимов термообработки СТМ и введения дисперсных наполнителей. Введение в стеклокомпозиционные покрытия в качестве наполнителей тугоплавких оксидов Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , которые не образуют стекла, но при растворении в них не ослабляют, а упрочняют стеклообразную сетку, позволило повысить прочность агрегатов в 3 раза. Это обеспечивает новые свойства инструмента, изготовленного на основе такого стеклокомпозита.

Литература

1. Шило А. Е. Стеклопокрытия для порошков сверхтвердых материалов. – К.: Наук. думка, 1988. – 208 с.
2. Влияние диффузионных процессов на взаимодействие в многокомпонентных силикатных системах / А. Е. Шило, С. А. Кухаренко, Н. Г. Клименко и др. // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 2. – С. 44–56.
3. Исследование диффузионных процессов в силикатных многокомпонентных системах для создания композитов из КНБ / С. А. Кухаренко, А. Е. Шило, Е. К. Бондарев, В. Н. Ткач // Сверхтвердые материалы. – 2007. – № 5. – С. 38–48.
4. Кухаренко С. А., Шило А. Е., Бондарев Е. К. Структурные превращения в смеси стекл натрийборосиликатной и свинцовоцинкборосиликатной систем при нагреве // Сверхтвердые материалы. – 2005. – № 4. – С. 47–55.

Поступила 21.04.09