

нием в процессе старения стали мелкодисперсных интерметаллидных фаз размерами 6–42 нм (рис. 2, б), но и выделением высокопрочных труднорастворимых карбоборидных фаз. В результате старения уменьшились размеры карбоборидов как пластинчатой формы типа $Me_7(C,B)_3$ (средняя длина – 215 , толщина – 47 нм), так и круглой формы типа $Me_{23}(C,B)_6$ до 115 нм. При этом объемная доля карбоборидов типа $Me_{23}(C,B)_6$ существенно увеличилась (рис. 2, в). Эвтектика в структуре такой стали стала более развитой и замкнутой при сохранении такого же химического состава, как и после отливки.

Описанные структурные изменения, по-видимому, и обеспечивают существенное повышение термической стабильности и износостойкости металла упрочненного боридами.

Таким образом, введение боридов в мартенситно-стареющую сталь H13X4M5ФСТЮ наряду со значительным повышением твердости после старения тормозит разупрочнение металла, затрудняет диффузионный обмен, рекристаллизацию и коагуляцию дисперсных частиц и тем самым повышает его термическую стабильность и износостойкость. Выявленные эксплуатационные свойства такого металла позволяют рекомендовать его для изготовления металлообрабатывающего инструмента в заготовительных производствах, а также на машиностроительных предприятиях.

Литература

1. Соколов Г. Н., Лысак В. И. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей.– Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2005. – 284 с.
2. Кальянов В. Н., Багров В. А. Мартенситно-стареющие стали для наплавки штампов // Сварочное производство. – 2003. – № 2. – С. 35–37.
3. Еремин Е. Н., Филиппов Ю. О., Еремин А. Е. Электрошлаковое кокильное литье изделий из жаропрочных сплавов. // Литейщик России. – 2007. – № 10. – С. 18–21.
4. Continuous dynamic recrystallization in an Al - Li - Mg - Sc alloy during equal-channel angular extrusion / R. Kaibyshev, K. Shipilova, E. Musin, Y. Motohashi // Mater. Sci. Eng. – 2005. – V. 396. – P. 341–351.
5. Кипелова А. Ю., Беяков А. Н., Скоробогатых В. Н. Структурные изменения при отпуске в стали 10X9K3B1M1ФБР и их влияние на механические свойства. // Материаловедение и термическая обработка материалов. – 2010. – № 3. – С. 14–25.
6. Перкас М. Д., Кардонский В. М. Высокопрочные мартенситно-стареющие стал. – М.: Металлургия, 1971. – 224 с.

Поступила 03.06.10

УДК 621.762:546:69

А. Ф. Ильющенко, член-корр. НАН Беларуси; В. А. Осипов

АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА АДГЕЗИОННО-АКТИВНЫХ СВЯЗКАХ ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ БЕТОНА И ПРАВКИ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ

Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии», г. Минск,
Республика Беларусь

Work is devoted research and working out of technology of reception алмазосодержащих материалов на основе адгезионно-активных связок с использованием инфльтрации порошковой шихты «алмаз-связка»

Настоящая работа посвящена исследованию и разработке технологии получения алмазосодержащих материалов на основе адгезионно-активных связок с использованием инфльтрации порошковой шихты «алмаз-связка» на стадии формирования композита и закрепления его на стальном корпусе инструмента.

Адгезионно-активными называются связки на металлической основе, вступающие в химическое взаимодействие с поверхностью алмазных частиц, находящихся в этой основе, что обеспечивает высокую прочность их закрепления в композиционном алмазном материале. Такие связки хорошо известны [1], однако по разным причинам не получили широкого применения. Одной из таких причин является сложность их получения в составе композита «алмаз–связка». Кроме того, неизвестны области применения алмазного инструмента на основе таких связок и его преимущества.

Цель настоящей работы состояла в изучении условий получения адгезионно-активных связок на основе Ti, Cr, в том числе влияние состава связки на смачиваемость углеродного материала и стальной подложки. При пропитке алмазосодержащего композита очень важно обеспечить хорошую смачиваемость медью в вакууме шихты «алмаз–связка».

Для исследования влияния состава связки на смачивание графита (имитация алмазной фазы) и стальной подложки изготовили следующие экспериментальные составы: Cu; Cu + 5 % Sn; Cu + 10 % Sn; Cu + 10 % Sn + 10%Ti; Cu + 20 % Sn + 10 % Ti; Cu + 4% Cr.

Результаты исследования показали, что с введением титана в медно-оловянистые сплавы повышается смачиваемость расплавом как стальной подложки, так и графита. При этом смачиваемость связки существенно зависит от содержания титана. Так, при содержании Ti до 10 % краевой угол смачивания графита уменьшается до 0–5° (рис. 1).

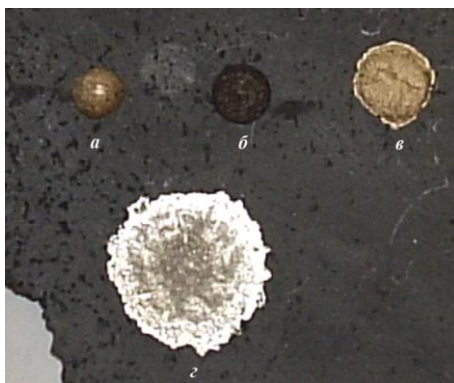


Рис. 1. Смачиваемость экспериментальными составами связок графита в зависимости от содержания титана: а – Cu + 10 % Sn; б – Cu + 10 % Sn; в – Cu + 10 % Sn + 5% Ti; з – Cu + 10 % Sn + 10 % Ti.

Аналогично на смачиваемость графита влияет введенный в медь хром. Так, при содержании в связке 4 % хрома краевой угол смачивания графита уменьшается до 40–45°.

Оптимальный состав связки (Cu + 10 % Sn + 10% Ti) и режимы пропитки позволили обеспечить высокую смачиваемость графита, порошков алмаза и стальной подложки (рис. 2).

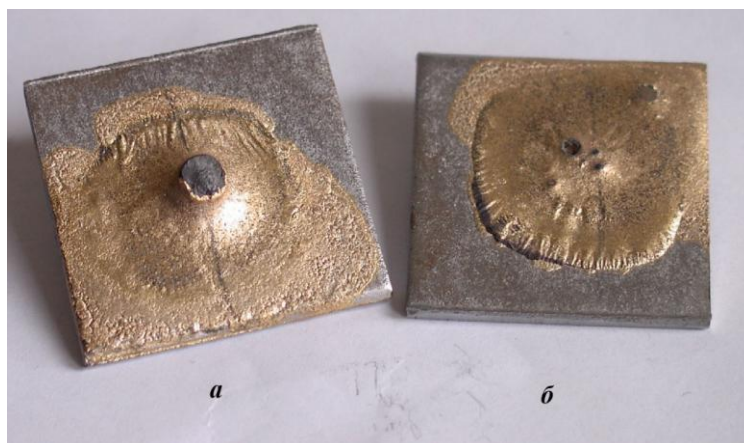


Рис. 2. Смачиваемость графита (а) и алмазного порошка AC 50 зернистостью 630/500 (б) связкой Cu+10 % Sn + 10 % Ti на стальной подложке

Результаты изучения условий пропитки шихты из алмазов АС50 зернистостью 630/500, адгезионно-активной связки и твердосплавной смеси ВК15 (наличие твердосплавной смеси в каркасе связки является необходимым условием для использования этой связки в инструменте для камнеобработки) показали, что разработанные составы хорошо смачивают алмазосодержащие шихты. Плотность полученных композитов составила 100 %. На границе раздела алмаз – адгезионно-активная связка Cu–Sn–Ti заметны следы проникновения связки в алмаз по трещинам и дефектным зонам (рис. 3, б).

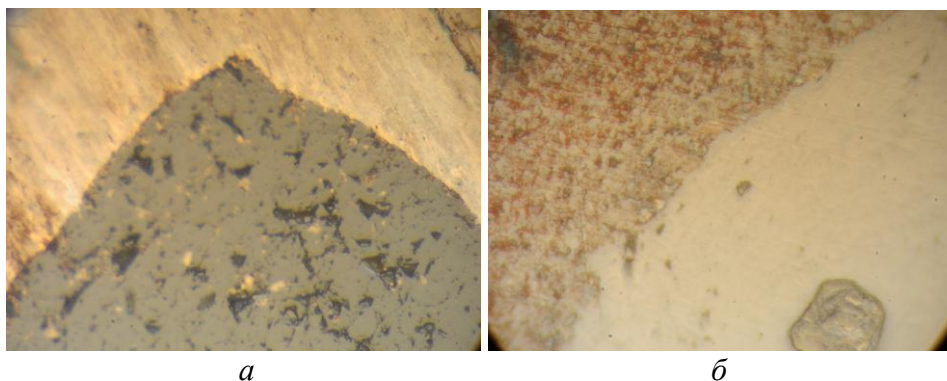


Рис. 3. Структура границы раздела алмаз – связка Cu - Sn – Ti- ВК, $\times 500$: а – связка Cu +10 % Sn ; б – связка Cu +10 % Sn + 10 % Ti

С введением в медь титана также повышается микротвердость связки с 1200 МПа у чистой меди до 3000 МПа у связки состава Cu +10 % Sn + 10 % Ti.

В результате применения разработанной технологии изготовления алмазных сверел на основе адгезионно-активной связки Cu +10 % Sn + 10 % Ti с последующей пропиткой медью получили образцы алмазных коронок высокого качества. Твердость инструмента составила 85–90 HRB. При испытании коронок изучали зависимость эксплуатационных показателей коронок (осевого износа ΔH , производительности сверления v , удельного расхода алмазов q_h) от состава и физико-механических свойств связки при заданных режимах сверления. Результаты испытаний показаны на рис. 4–6.

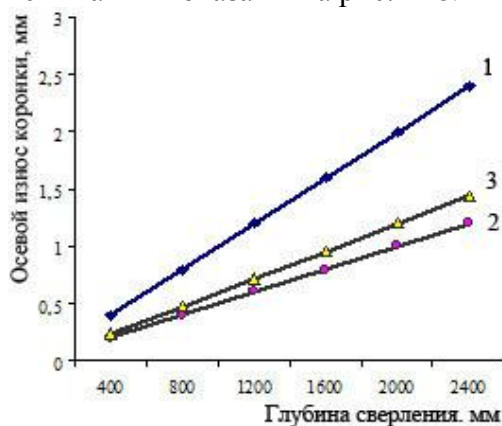


Рис. 4. Влияние состава связки на осевой износ алмазной коронки при сверлении бетона М400: 1 – Cu ; 2 – Cu – 10 % Sn – 10 % Ti; 3 – Cu – 4 % Cr

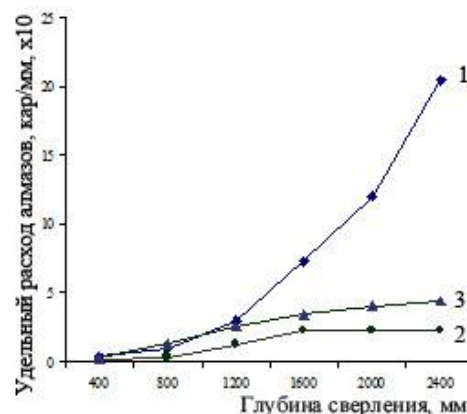


Рис. 5. Влияние состава связки коронок на удельный расход алмазов при сверлении бетона М 400: 1 – Cu ; 2 – Cu – 10 % Sn – 10 % Ti; 3 – Cu – 4 % Cr

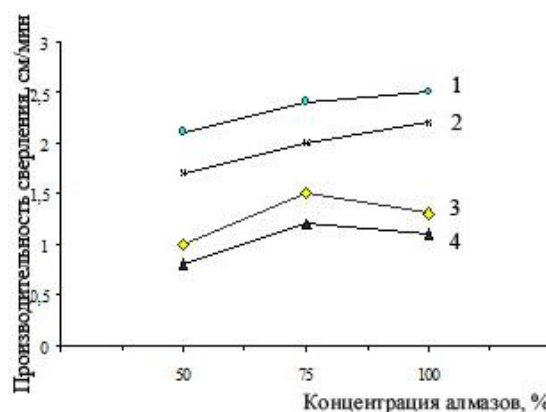


Рис. 6. Влияние состава связки, концентрации и размера алмазов на производительность обработки бетона М400: 1 – связка Cu – 10 % Sn – 10 % Ti, алмазы 800/630; 2 – связка Cu – 10 % Sn – 10 % Ti, алмазы 630/500; 3 – связка Cu, алмазы 800/630; 4 – связка Cu, алмазы 630/500

Как видим, что износ коронок на связке Cu – 4 % Cr превышает износ коронок на связке Cu – 10 % – Sn – 10 % Ti, что обусловлено более высокой твердостью последней. Так, микротвердость связки Cu – 10 % – Sn – 10 % Ti составляет 300 кг/мм², Cu – 4 % Cr – 240 кг/мм², а также наблюдается более высокая прочность зерноудержания алмазных частиц в связке. Однако вследствие сильного алмазоудержания алмазные зерна, затупившиеся в процессе работы, своевременно не выпадают из связки, и это приводит к снижению производительности сверления. Удельный расход алмазов при этом повышается, но остается существенно более низким, чем у традиционных связок на Cu-основе.

В процессе испытаний установили, что с повышением концентрации алмазов производительность сверления коронок, изготовленных на адгезионно-активной связке Cu – 10 % Sn – 10 % Ti, возрастает, а удельный расход алмазов снижается. Однако превышение концентрации алмазов 100 % негативно влияет на износостойкость сверел вследствие снижения прочности зерноудержания частиц алмаза в основе из-за уменьшения расстояния между ними. При этом износ коронок на связке Cu – 4 % Cr превышает износ коронок на связке Cu – 10 % – Sn – 10 % Ti вследствие того, что адгезионные свойства медно-титановых связок выше, чем медно-хромовых, а значит алмазоудержание у связки Cu - 10 % - Sn - 10 % Ti более высокое.

Результаты металлографических исследований показали, что применение адгезионно-активной связки Cu + 10 % Sn + 10 % Ti обеспечивает микротвердость 200–280 кг/мм², а в центре между алмазами – 140–180 кг/мм². На рис. 7 четко видны более темные участки вокруг алмаза повышенной микротвердости.

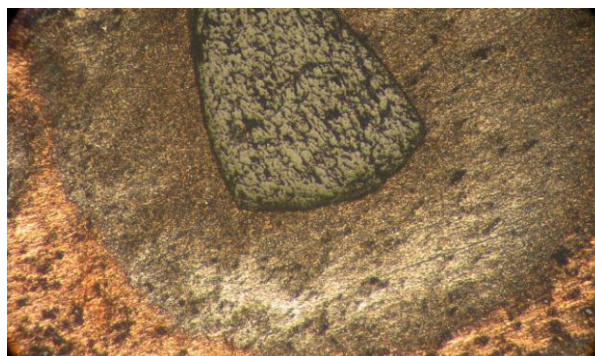


Рис. 7. Микроструктура композиционного алмазосодержащего материала на основе связки Cu – 10 % – Sn – 10 % Ti, изготовленного с применением алмазных частиц, закатанных в твердосплавную оболочку, ×500

Разработанный композиционный материал обеспечивает высокое сопротивление алмазного зерна воздействию ударных нагрузок благодаря податливости твердосплавной гранулы с алмазным зерном в более мягкой матрице, а также существенное алмазоудержание благодаря хорошей смачиваемости алмазной частицы такой связкой и, как следствие, благоприятные условия резания не только бетона, но и стальной арматуры.

В результате испытаний образцов алмазных коронок установили, что производительность сверления железобетонных конструкций составляет в среднем 2,5 см/мин и соответствует производительности лучших аналогов. При этом удельный расход алмазов снижается в 1,6 раза, а ресурс работы составляет 19–22 м.

Рассматривая вопросы изготовления алмазных правящих роликов (АПР) с использованием адгезионно-активных связках, следует, прежде всего отметить, что условия работы такого инструмента, формирующего профиль шлифовального круга при рабочей скорости 30–60 м/с и более, очень тяжелые. Противостоять интенсивному износу в сложных условиях способен инструмент, изготовленный из износостойких композиционных материалов на основе высококачественных кристаллов СТМ (алмазов, нитрида бора). Определяющим фактором при этом является их зернистость. У природных алмазов зернистость не превышает 2000 мкм, у синтетических – 600 мкм.

На практике удельный расход алмазов у инструмента, изготовленного из синтетических алмазов, в 1,5–2 раза превышает удельный расход природных алмазов, а срок их службы короче, чем природных алмазов такой же зернистости и прочности. Это обусловлено наличием примесей (металлов-катализаторов) в синтетических алмазах и, как следствие, их пониженной термостойкостью.

В настоящей работе в качестве сверхтвердых износостойких материалов для изготовления АПР использованы синтетические алмазы АС100–АС160 зернистостью 600–800 мкм. Это обусловлено тем, что синтетические алмазы дешевле природных в 1,2–1,5 раза и более доступны на белорусском рынке.

Однако для жестких условий работы правящего инструмента такие связки недостаточно твердые. В данной работе твердость и износостойкость адгезионно-активной связки $\text{Cu} - 10\% \text{Sn} - 10\% \text{Ti}$ повышали путем ее модифицирования методом механического легирования тонкодисперсными включениями W_4C и WC . Дисперсность таких соединений составляла 1–2 мкм.

По такой технологии получили сплавы $\text{Cu} - 10\% \text{Sn} - 10\% \text{Ti} + 1\% \text{W}_4\text{C}$ и $\text{Cu} - 10\% \text{Sn} - 10\% \text{Ti} + 1\% \text{WC}$.

В результате исследований установлено, что легирование связки добавками WC и W_4C приводит к ее измельчению (рис. 8). При этом в структуре же сплава $\text{Cu} - 10\% \text{Sn} - 10\% \text{Ti} + 1\% \text{W}_4\text{C}$ (рис. 8, б) имеется повышенная пористость, что может быть связано с недостаточной смачиваемостью карбида бора медно-оловянным расплавом.

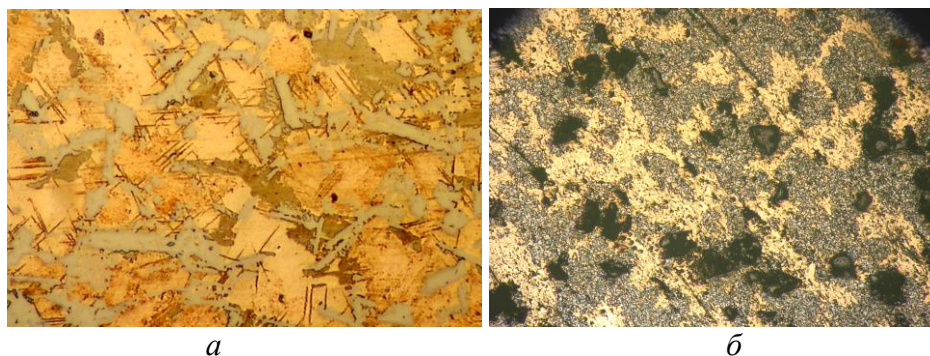


Рис. 8. Микроструктура модифицированных сплавов $\text{Cu} - 10\% \text{Sn} - 10\% \text{Ti}$, $\times 500$:
а – $\text{Cu} - 10\% \text{Sn} - 10\% \text{Ti} + 1\% (\text{WC} + \text{Co})$; б – $\text{Cu} - 10\% \text{Sn} - 10\% \text{Ti} + 1\% \text{W}_4\text{C}$

Результаты дюрOMETрического анализа связок показали, что связки, полученные спеканием в вакууме, имеют неоднородную структуру. Так, микротвердость основы в сплавах Cu+10 % Ti+10 % Sn составляет 140,4–57,0 кгс/мм², сплава Cu + 10 % Ti + 10 % Sn + 1 % WC – 150,0–175,0 кгс/мм², эвтектики – 340,6–357,7 кг/мм², сплава Cu + 10 % Ti+10 % Sn+1 % B₄C – от 132,0-150,0 до 390,9–396,1 кгс/мм².

Полученный сплав Cu + 10 % Ti + 10 % Sn + 1 % WC использовали для изготовления опытных образцов АПР прямого профиля, которые испытывали на ОАО «Минский моторный завод» при черновой обработке коренных и шатунных шеек коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей методом врезного шлифования.

Алмазосодержащий слой правящего ролика имел следующие характеристики: марка алмазов – АС 100, зернистость алмазов – 800/630 мкм, масса алмазов в одном ролике – 59 карат, относительная концентрация алмазов – 100 % , твердость рабочего слоя – 95 HRV, плотность композиционного материала – 100 %.

Результаты испытания опытных роликов показали, что производительность правки шлифовальных кругов разработанным на адгезионно-активных связках инструментом в 3–4 раза превышает производительность правки однокристалльным инструментом. Точность правки алмазными роликами, следовательно, и точность обработки деталей составила 0,8–1,25 мкм. Расчетная стойкость алмазных роликов исходя из полученных показаний по расходу алмазов на 1000 правок может составлять до сотен тысяч деталей.

Промышленные испытания подтвердили, что разработанная модифицированная адгезионно-активная связка Cu – 10 % Sn – 10 % Ti на синтетических алмазах соответствует требованиям абразивной обработки шлифовальных кругов в процессе их правки.

Литература

1. Найдич Ю. В., Колесниченко Г. А. Взаимодействие металлических расплавов с поверхностью алмаза и графита. – К.: Наук. думка, 1967. – 82 с.
2. Найдич Ю. В. Контактные явления в металлических расплавах. – К.: Наук. думка, 1982. – 196 с.
3. Черкашин Ю. А., Насыбулин А. Г. Алмазный инструмент в камнеобработке. – Ташкент: Мехнат, 1987. – 160 с.
4. Новиков Н. В. Синтетические сверхтвердые материалы: В 3 ч. Ч. 3. Применение синтетических сверхтвердых материалов. – К.: Наук. думка, 1986. – 264 с.
5. Коломиец В. В., Полупан Б. И., Химач О. В. Алмазный инструмент фасонного профиля. – К.: Наук. думка, 1992. – 176 с.
6. Кизиков Э. Д., Верник Е. Б., Кошевой Н. С. Алмазно-металлические композиции. – К.: Техника, 1988. – 160 с.
7. Получение, свойства и применение алмазов и кубического нитрида бора / П. А. Витязь, В. Б. Шипило, Е. В. Звонарев, А. М. Кузей. – Минск: Бел. наука, 2003. – 336 с.

Поступила 06.07.10