

УДК 621.922.34

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ПРОЧНОСТЬ ЗАКРЕПЛЕНИЯ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ**

*А.С. АРШИКОВ, канд. техн. наук, доц. А.А. ЛЫСОВ, С.В. ДЕРБУШ  
(Полоцкий государственный университет)*

*Исследована прочность удержания алмазного зерна в металлических связках как одного из основных показателей, характеризующих качество алмазного инструмента. Установлено, что алмазоудержание зависит от материала связки, метода получения алмазно-композиционного материала и марки применяемых алмазных порошков. Показано, что введение в состав металлических матриц адгезионно-активных добавок в значительной степени увеличивает прочность закрепления зерен алмазов в металлических связках даже при повышенных концентрациях. Величина алмазоудержания является основным критерием при выборе материала связки при изготовлении алмазно-абразивного инструмента.*

Одним из основных условий работоспособности алмазного инструмента является способность связки удерживать алмазные зерна.

Наиболее благоприятные условия работы алмазного инструмента создаются в том случае, когда в работе резания участвуют выступающие зерна и между матрицей и обрабатываемым материалом образуется пространство, обеспечивающее свободное прохождение смазочно-охлаждающей жидкости, охлаждение зерен и удаление продуктов обработки. Создание таких благоприятных условий работы инструмента возможно лишь в том случае, когда соотношение между глубиной врезания  $h_{,p}$  и средним размером зерна  $d$  находится в пределах  $(0,12... 0,15)d$  [1]. Особенно эта зависимость справедлива для обработки инструментами кольцевой формы.

Наблюдение за характером закрепления алмазного зерна и его износа показывает, что кроме свойств самого алмаза в этих процессах большую роль играют материал и свойства применяемых металлических матриц.

Прочность закрепления алмазных зерен в значительной степени влияет на эффективность работы инструмента, которая определяется формой алмазных зерен, их геометрическими параметрами, характером расположения, физико-химическим взаимодействием между алмазом и материалом металлической матрицы, в которой они закреплены, а также механической прочностью алмазного сырья [2]. Так, зерна изометрической формы с гладкими поверхностями закрепляются менее прочно, чем удлиненные с развитыми и неровными поверхностями. Материалы матрицы, имеющие более высокую прочность и свойства, улучшающие диффузионное и адгезионное взаимодействие с алмазом, способствуют увеличению прочности закрепления отдельного зерна.

При эксплуатации инструмента вырывание алмазных зерен происходит под действием в основном тангенциальной составляющей силы резания. Поэтому количественная оценка способности различных металлических связок удерживать алмазные зерна осуществлялась под действием этой силы.

Для исследования удержания алмазных зерен в металлических связках применялась экспериментальная установка, изготовленная на базе большого инструментального микроскопа БМИ-1Ц.

Образец закрепляется на кронштейне, жестко соединенном со стойкой установки. Индентор с напаянной твердосплавной пластинкой закрепляется на упругом элементе динамометра. Для подведения индентора к нужному алмазному зерну установка снабжена механизмами продольной, поперечной и вертикальной подачи. Исследуемый образец и индентор постоянно находятся в поле зрения микроскопа. Тензометрический динамометр был оттарирован при нагрузках до 50 Н, через каждые 0,5 Н.

Равномерно возрастающая нагрузка прикладывалась к алмазному зерну при помощи механизма продольной подачи; вектор прилагаемой силы был параллелен плоскости образца. При вырывании алмазного зерна индентор располагался так, чтобы его конец находился на расстоянии 20 мкм от поверхности образца.

Измерение силы вырыва осуществлялось при помощи проволочных тензометрических датчиков, расположенных на рабочем и компенсационном элементах. Измерительный мост питался от стабилизированного источника калиброванных напряжений П137, запись измерений силы производилась на самопишущем потенциометре ЭПП-09М, модернизированном для работы в пяти пределах в интервале 0...5 мВ. Прочность удержания оценивалась силой, необходимой для вырыва алмазного зерна из связки.

Для изготовления образцов использовались алмазный порошок АС15 и АС32 зернистостью 315/250. Образцы изготавливались на металлических связках системы (Cu - 80 %, Sn - 20 %) и (Cu - 80 %, Sn - 20 %) + 10 вес. % Ti. Зерна алмаза оголялись при помощи электрохимического травления. Выбирались зерна, расположенные на одинаковом расстоянии друг от друга. После вырыва алмазных зерен в

матрице остается характерная лунка, глубина которой соответствует глубине заделки зерна, замерялась прибором ИГМ-1М в поле зрения микроскопа МБС-10. Учитывались результаты лишь тех измерений, в результате которых после вырыва зерна оставалась четкая лунка.

По этим опытам для каждого зерна определялись глубина заделки  $h_n$ , усилие и характер вырыва и рассчитывалась относительная критическая глубина заделки.

Проведенные исследования по вырыванию единичного алмазного зерна из металлических матриц при помощи сконструированного для этих целей устройства позволили установить некоторые закономерности.

Зависимости усилия вырыва от глубины заделки алмазных зерен АС 32 400/315, закрепленных в связках М2-01 (Cu - 80 %, Sn - 20 %) и (Cu - 80 %, Sn - 20 %) + 10 вес. % Ti, представлены на рис. 1.

С увеличением глубины заделки алмазного зерна возрастает нагрузка. Усилие вырыва в исследуемых связках пропорционально глубине заделки зерна. Данная взаимосвязь сохраняется до определенного момента, а именно до тех пор, пока зерно имеет глубину заделки, равную половине своего размера или меньше. Удерживающая способность связки зависит также и от марки алмазов. Так, усилие вырыва алмазов АС32 несколько выше, чем АС15 одинаковой зернистости. Это объясняется тем, что алмазы марки АС32 имеют более развитую поверхность и прочнее удерживаются связкой.

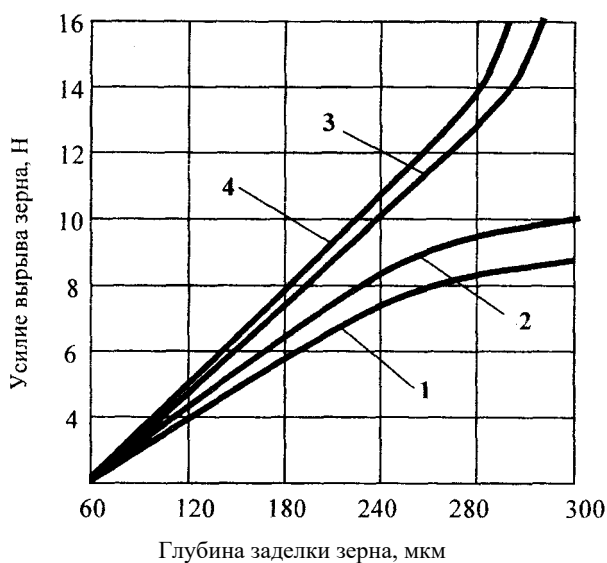


Рис. 1. Зависимость усилия вырыва зерна от глубины заделки АС 15 (1) и АС32 (2) в связке (Cu - 80 %, Sn - 20 %) АС 15 (3) и АС32 (4) в связке (Cu - 80 %, Sn - 20 %) + 10 вес. % Ti

При глубине заделки зерна, превышающей средний его размер, зависимость уже не является линейной, и усилие вырыва резко возрастает. Увеличение усилий вырыва связано с тем, что для вырыва зерна необходимо затратить дополнительные силы на деформацию материала связки. Чем выше прочностные характеристики связки, тем большие силы надо затратить для извлечения зерна. Этим объясняется различный характер вырыва алмазных зерен.

При нагружении зерен, закрепленных в связке М2-01, происходит некоторое перемещение зерна в направлении вектора прилагаемой силы, что способствует небольшому увеличению усилий вырыва. При нагружении зерна в связках с добавками титана момент достижения критической нагрузки сопровождается мгновенным вырывом зерна.

На рис. 2 приведены характерные лунки после вырыва алмазных зерен марки АС 32 400/315. В первом случае лунки сохраняют форму алмазного зерна. Это указывает на то, что вырыв происходит по границе алмаз - связка. Во втором случае лунки несколько большие по величине, имеют бесформенные очертания и сколы близлежащих участков, связки, свидетельствующие о том, что вырыв происходит в результате когезионного разрушения связки.

Полученные зависимости позволяют определить критическую глубину заделки зерна ( $h_{з}KP$ ), т.е. максимальную глубину, при которой зерно может быть вырвано из связки неразрушенным. Так, для зерен алмазов марки АС15 ( $h_{з}KP \approx 142$  мкм). В этом случае зерна разрушаются, не вырываясь при нагрузке, примерно соответствующей прочности зерна при одноосном сжатии. Что касается алмазов с более высокими прочностными и геометрическими параметрами, как показывают ранее проведенные исследования, оптимальной величиной критической заделки алмазных зерен является глубина заделки, примерно рав-

ная половине либо чуть больше среднего размера зерна. Так, для алмазов марки АС32 критическая глубина заделки составляет около 200 мкм.

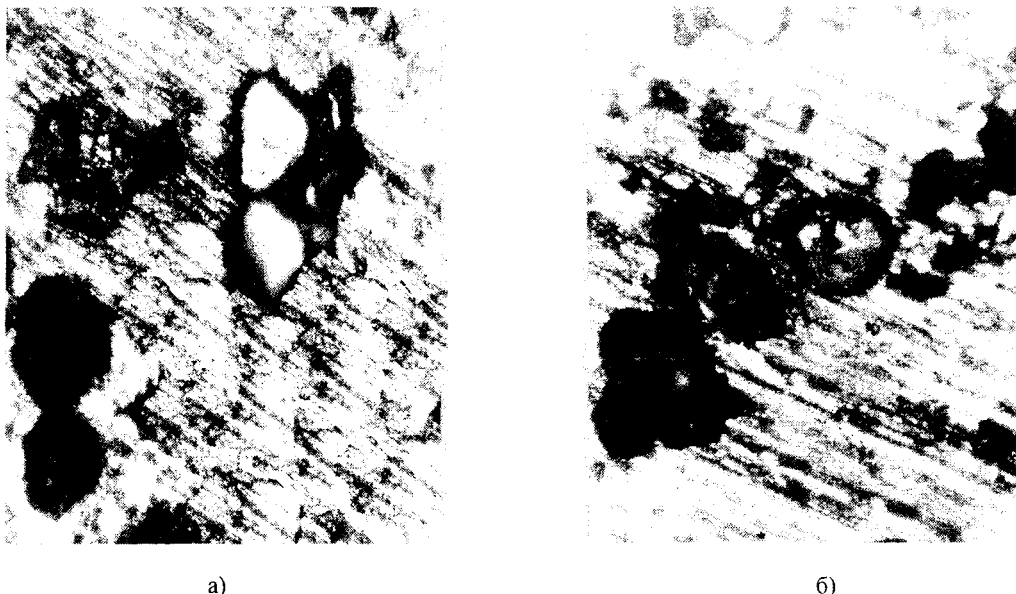


Рис. 2. Поверхность образцов после вырыва зерен АС32 400/315 ( $\times 100$ )  
а – связка (Cu – 80 %, Sn – 20 %, + 10 вес. % Ti); б – связка (Cu – 80 %, Sn – 20 %)

Относительную критическую глубину заделки зерен [3] (величину, характеризующую количество зерен, выпавших из круга в процессе работы) можно выразить следующим отношением:

$$\varepsilon = \frac{(h_3)_{кр}}{d},$$

где  $d$  – средний размер алмазного зерна.

Так, для алмазов исследуемой зернистости 400/315 средний размер зерна, которых равен 450 мкм, относительная критическая глубина заделки для алмазов АС15 составляет 0,315 мкм, для алмазов АС32 – 0,444.

Относительная критическая глубина заделки является постоянной для одной и той же марки алмазов, что дает возможность рассчитывать средний размер зерен, выпадающих из инструмента в процессе работы. Размер рассчитывается как сумма критической глубины заделки и величины выступания зерна из связки. Рассчитанный размер зерен размером 125/100 алмазов АС15 составляет 142 мкм. Размер зерен, рекуперированных из шлама после сверления бетона кольцевым сверлом с алмазами АС15 120/100, составил 148 мкм, что близко к размерам, определенным расчетным путем.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что алмазоудержание зависит от материала связки, метода получения алмазно-композиционного материала и марки применяемых алмазных порошков. Показано, что введение в состав металлических матриц адгезионно-активных добавок в значительной степени увеличивает прочность закрепления зерен алмазов в металлических связках даже при повышенных концентрациях. Величина алмазоудержания является основным критерием при выборе материала связки при изготовлении алмазно-абразивного инструмента. Критическая глубина заделки зерен алмазов различных марок для конкретной связки определяется их прочностью, характером поверхности, геометрическими параметрами и увеличивается при переходе от менее прочных к более прочным алмазам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Верещагин В.А., Журавлев В.В. Композиционные алмазосодержащие материалы и покрытия. - Мн.: Навука і тэхніка, 1991. - 208 с.
2. Хрульнов В.А., Головань А.Я., Федотов А.И. Алмазные инструменты в прецизионном приборостроении. - М., 1977. - 181 с.
3. Сердюк В.М., Коновалов В.А., Чалый В.Т. Исследование прочности удержания алмазных зерен в органической связке // Синтетические алмазы. - 1976. - Вып. 4. - С. 33 - 35.