

УДК 621.9.025.75:669.018.25

Экспериментальное исследование и анализ эксплуатационных характеристик алмазно-твердосплавных пластин

Бондаренко Н. А. *, Коростышевский Д. Л., Осипов А. С., Мечник В. А.

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

Поступила в редакцию 20.11.08, принята к печати 01.11.09.

Аннотация

Представлена методика и результаты исследования прочности соединения двухслойных алмазно-твердосплавных пластин. Установлено, что в термообработанных пластинах прочность соединения слоев снижается на 17-52 %, а при увеличении алмазосодержащего слоя касательные усилия среза уменьшаются на 11-37%. Сделано предположение, что прочность соединения слоев существенно зависит от наличия примесей в исходной смеси. Экспериментальные исследования, проведенные на пластинах АТП подтвердили эффективность данной методики и перспективу ее применения.

Ключевые слова: прочность, двухслойные алмазно-твердосплавные пластины, термообработка, примеси.

1. Актуальность

Создания алмазного бурового инструмента, оснащенного режущими элементами PDC (polycrystall diamond compact), и алмазно-твердосплавными пластинами (АТП) ознаменовало прорыв в использовании алмазных долот при бурении нефтяных и газовых скважин. Значительно превышая показатели шарошечных долот по проходке, они успешно конкурируют с ними по механической скорости бурения. Это привело к тому, что по всему миру часть алмазных долот в общем объеме их использования достигла 20 %, а доля долот, оснащенных АТП в общем объеме использования алмазного инструмента достигает 90 %. Это объясняется тем, что большинство разработчиков АТП активно работают над созданием термостойких элементов, способных работать не только в мягких породах, но и в породах средней твердости и твердых, где показатели бурения алмазными долотами существенно превышают показатели бурения шарошечными долотами [1].

При разработке и использовании АТП важным фактором оценки их качества является прочность соединения алмазного поликристаллического слоя с твердосплавной подложкой. До этого времени основными критериями определения работоспособности пластин были износостойкость [2] и твердость [3] алмазного поликристаллического слоя. Однако эти критерии в полной мере не выявляют неравномерности соединения алмазосодержащего слоя и твердосплавной подложки, неоднородность их спекания, возможное расслоение, и другие невидимые дефекты и недостатки технологии спекания, хотя именно эти признаки составляют 27 % потери пластинами работоспособности [4]. Контроль за соединением слоев осуществляют также с помощью метода ультразвукового контроля (УЗК). Этот метод контроля без разрушения пластин позволяет фиксировать наличие микротрещин в двухслойных пластинах после спекания либо даже после их закрепления методом пайки в долоте. Однако когда напряжение на границе слоев близко к

* автор для переписки: ttgr@pop.dgtu.donetsk.ua

критическому, метод УЗК не позволяет выявить дефекты в контролируемых пластинах. Алмазный слой отслаивается после изготовления долот или еще хуже в процессе работы долота на забое. Недостаток этого метода состоит еще и в том, что не дает числового значения прочности соединения слоев в пластине, что важно знать при усовершенствовании технологии их изготовления или разработке новых пластин.

Таким образом, разработка метода оценивания работоспособности пластин является актуальной проблемой и имеет большое практическое значение.

2. Описание методики и схемы испытания

Методика оценивания работоспособности пластин основывается на экспериментальном определении касательных напряжений среза $\tau_{ср}$ алмазоносного слоя от твердосплавной подложки. Поставленная задача решалась следующим образом. АТП, которая изготавливается в форме диска диаметром 13,5 мм и высотой 3,5 мм, разрезали методом электроискровой обработки диаметрально на равные половины. Необходимо отметить, что в АТП при общей высоте 3,5 мм высота алмазоносного слоя в зависимости от технологических потребностей, может изменяться от 0,7 до 1,5 мм. Одну половину пластины термообработывали в муфельной печи при температуре, соответствующей ее предельной термостойкости (пластины АТП серийного производства – 650 °С, остальные – 900 °С) в течении 3мин с последующим остыванием на воздухе. Таким образом, моделировали процесс «термического удара», который происходит при пайке пластин в долото. После этого с каждой половины вдоль диаметрального разреза вырезали по пять образцов пластины, в форме параллелепипеда высотой 3,5 мм, а в поперечном сечении – в форме квадрата со сторонами 2,05x2,05 мм. Таким образом, исследование проводили по всей площади пластины как в центре, так и на равноудаленных от центра участках. Образцы с негретой половины пластины пронумеровали от 1 до 5, вырезанные симметрично термообработанной половины соответственно от 6 до 10 (рис. 1а). После этого все 10 образцов шлифованием на алмазном круге довели до $\square 2_{-0,02}$ мм (рис. 1б).

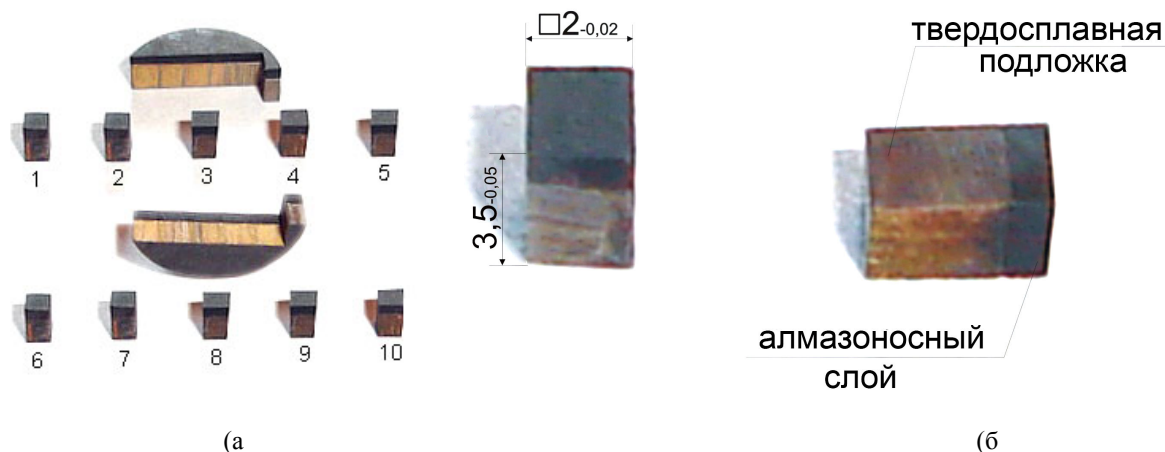


Рис. 1. Образцы пластины АТП: а – после порезки; б – после финишной обработки

Предварительно для обеспечения исследований, методом горячего прессования с твердого сплава марки ВК6 были спечены установочные и зажимные вставки с последующей обработкой круглошлифованием на бесцентрово-шлифовальном станке до диаметра $10_{-0,05}$ мм. Торцевые поверхности вставок шлифовали алмазным кругом до получения плоскопараллельных поверхностей, перпендикулярных к оси. На одной из торцевых поверхностей установочной и зажимной вставок электроискровым способом вырезали соосные сквозные пазы прямоугольной формы шириной $2^{+0,05}$ мм. Глубина паза на установочной вставке соответствовала высоте

твердосплавной подложки АТП, а глубина паза зажимной вставки 2 мм и выполнялась со свободным допуском.

В качестве оснастки для проведения испытаний использовали специальное приспособление, общий вид которого показан на рис. 2а, схематическое изображение – на рис. 2б.

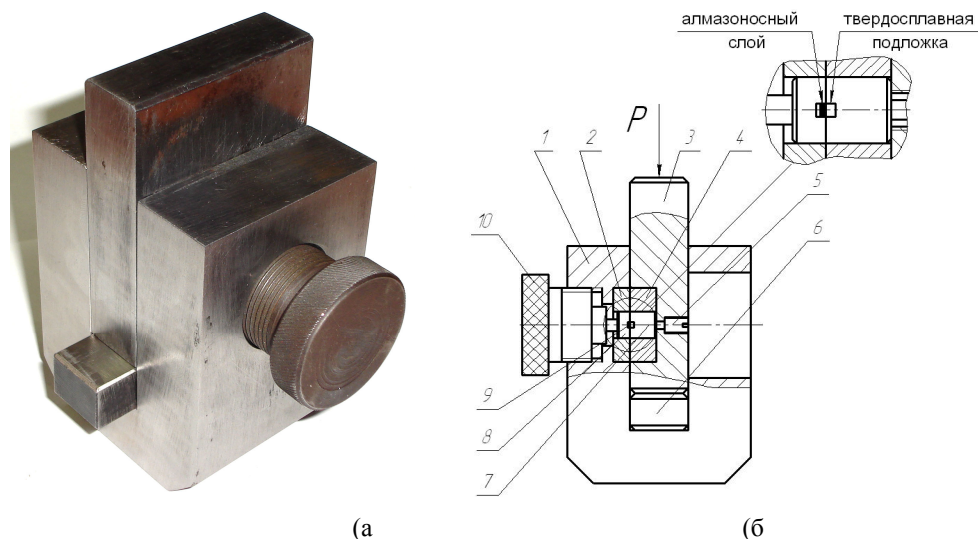


Рис. 2. Приспособление для испытаний образцов на срез: а – общий вид, б – схематическое изображение

Приспособление состоит из стального корпуса 1, запрессованного в него центровочного твердосплавного кольца 2, подвижной стальной пластины 3, запрессованного в нее установочного твердосплавного кольца 4, регулировочного винта 5, подпорного бруска 6, вставок установочной 7 и зажимной 8, исследуемого образца АТП 9 и подпорного винта 10.

Приспособление для проведения испытаний собирают следующим образом. В корпус 1 на подпорный брусок 6 устанавливают подвижную пластину 3, в которую предварительно, по ходовой посадке устанавливается установочная вставка 7 и выставляют заподлицо с боковой поверхностью подвижной пластины с помощью регулировочного винта 5. Установочную вставку располагают в установочном кольце так, чтобы сквозной паз на торцевой поверхности был параллелен плоскости подпорного бруска. Высота подпорного бруска и подвижной пластины подобрана таким образом, чтобы ось отверстия в установочном кольце, а значит и ось установочной вставки, совпадали с осью центровочного кольца и осью зажимной вставки. Через отверстие центровочного кольца в паз установочной вставки вставляют исследуемый образец АТП 9 так, чтобы линия раздела алмазоносного слоя и твердосплавной подложки была заподлицо с торцевой поверхностью установочной вставки. Зажимную вставку 8 вставляют в отверстие центровочного кольца, обеспечивая расположение сквозного паза параллельно плоскости подпорного бруска и вхождение в него выступающего из установочной вставки алмазоносного слоя исследуемого образца. Зажимную вставку поджимают подпорным винтом 10.

Подготовленное к испытаниям специальное приспособление устанавливают на динамометр 1 универсальной испытательной машины модели FP-10 (рис.3). С приспособления 2 вынимают подпорный брусок.



Рис. 3. Общий вид универсальной испытательной машины FP-10: 1– динамометрическое приспособление; 2–приспособление для исследования на срез; 3– рабочая стрелка; 4–фиксирующая стрелка

На подвижную пластину подают нагрузку, которая контролируется рабочей стрелкой 3, а допустимое усилие–фиксирующей стрелкой 4. Числовые значения усилий определяют индикатором с разрешающей способностью 4000 Н при допустимой погрешности измерений ± 40 Н. Касательные напряжения вычисляют по известной формуле.

3. Результаты экспериментальных исследований

Критерием оценки качества крепления алмазосного слоя к твердосплавной подложке служит определенное срезающее напряжение паяного соединения АТП на припой Пср 40 в корпус долота. В таких соединениях $\tau_{ср}$ достигает 320 МПа, что достаточно для безаварийной работы [5].

Для проверки представленной методики и установления закономерностей прочности соединения алмазосного слоя с твердосплавной подложкой были подготовлены образцы АТП серийного производства, термостойких АТП, пластин PDC-1 и PDC-2 с различной высотой алмазосного слоя с термообработкой и без таковой. Пластины PDC-1 и PDC-2 это изделия производства двух китайских фирм.

На рис. 4, представлены гистограммы касательных напряжений среза образцов из серийно выпускаемых и термостойких АТП без термообработки, на рис. 5, показаны результаты испытаний образцов тех же пластин после термообработки.

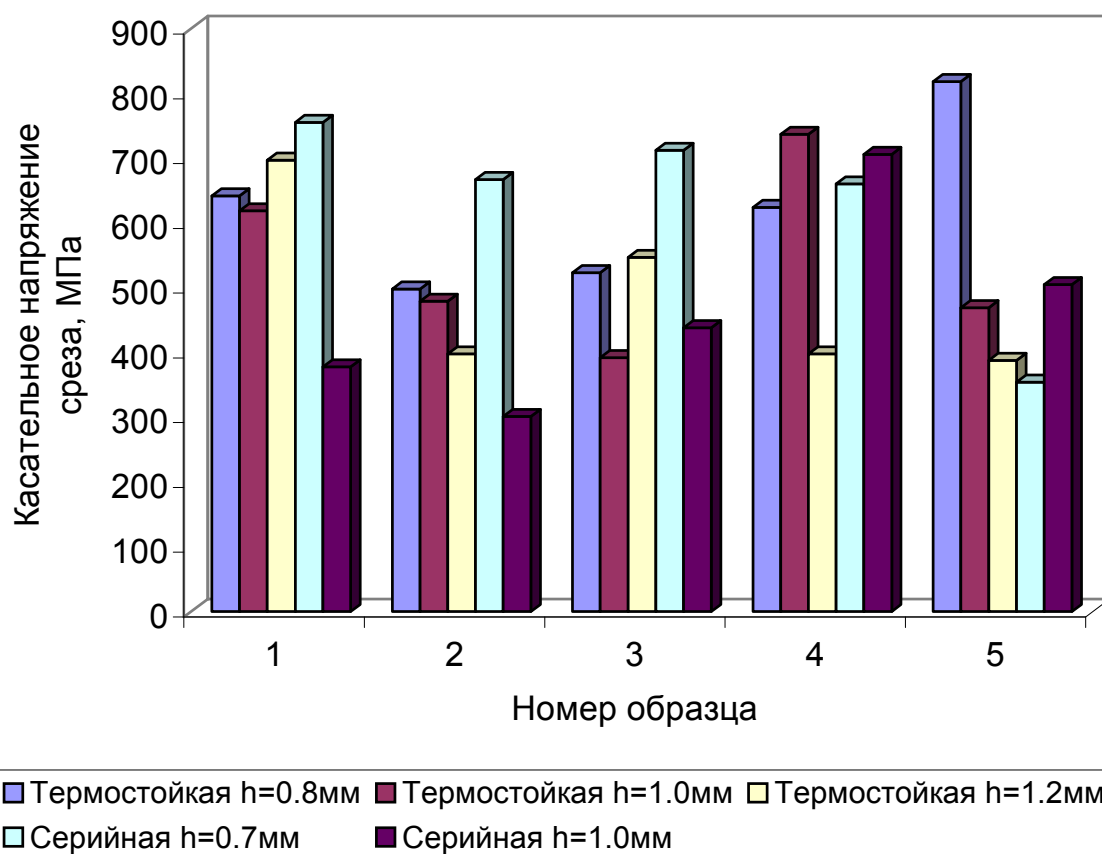


Рис. 4. Сравнительная характеристика распределения касательных напряжений среза образцов 1-5 АТП

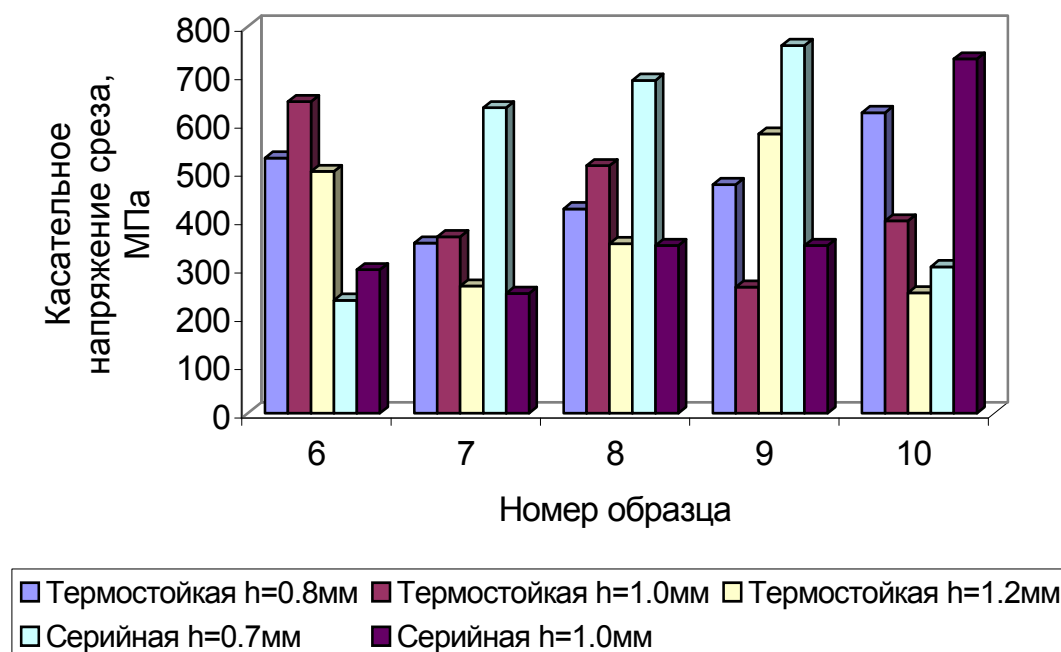


Рис. 5. Сравнительная характеристика распределения касательных напряжений среза для образцов 6-10 АТП

Как свидетельствуют данные экспериментальных исследований, закономерности распределения $\tau_{ср}$ по поверхности пластин не наблюдается, к тому же напряжения на периферийных участках пластин часто ниже напряжений в их центральной части, тем самым опровергается распространенное мнение о том, что неравномерное распределение усилия прессования в процессе спекания пластин приводит к тому, что в центральной части пластин, где усилие минимальное, прочность соединения алмазоносного слоя с твердосплавной подложкой минимальна.

В процессе исследований было установлено, что в опытных образцах при $\tau_{ср} < 320$ МПа под действием срезающих усилий происходит разрушение алмазоносного слоя. Одной из возможных причин такого явления может быть присутствие нежелательных примесей в твердосплавной подложке. При спекании расплавленный кобальт вместе с примесями проникает в алмазоносный слой. Распределение этих локальных участков хаотичное, поэтому срезающие усилия существенно колеблются. На основании изложенного приходим к выводу, что для повышения качества спекаемых АТП в исходной шихте порошка ВК, из которой изготавливают подложки пластин, не должны присутствовать примеси снижающие прочность соединения двух слоев АТП.

В мировой практике для долот, используемых при бурении твердых абразивных пород, изготавливают термостойкие двухслойные пластины с увеличенной до 2 мм толщиной алмазоносного слоя. Эффективность использования таких пластин в указанных условиях зависит от многих факторов, в том числе удерживающей способности алмазоносного слоя к твердосплавной подложке.

Для определения влияния толщины алмазоносного слоя на срезающие нагрузки были изготовлены три термостойкие АТП с добавками SiC [6] и толщиной слоя 0,8; 1,0 и 1,2. Усредненные результаты испытаний по пяти образцам показаны на рис. 6.

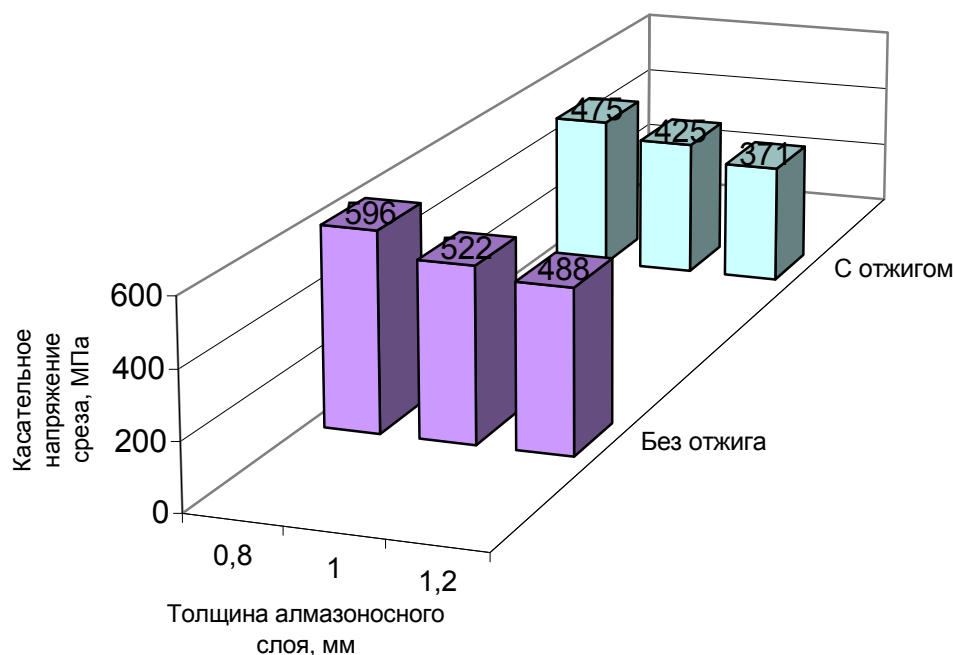


Рис. 6. Характер изменения касательных напряжений среза алмазоносного слоя в термостойких АТП с увеличением его высоты в отожженном и не отожженном состояниях.

Результаты вычислений и данные показанные на рис. 6, свидетельствуют о том, что увеличение толщины алмазосносного слоя на 20–25 % приводит к уменьшению $\tau_{ср}$ на 11–22 %. Такую закономерность можно объяснить тем, что при прессовании исходных слоев пластины в условиях высоких давлений и температур их взаимодействие усиливается до некоторой критической толщины алмазосносного слоя, а в случае превышения критического значения происходит обособленное спекание составных слоев, при этом уровень их взаимодействия снижается. В рассматриваемом случае толщина слоя 0,8 мм показала максимальное взаимодействие слоев. Подобная тенденция сохраняется и для пластин, спекаемых за рубежом.

В дальнейшем при спекании АТП с увеличенной толщиной алмазосносного слоя необходимо выбирать такой технологический режим и подбирать такую сборку для спекания, чтобы избежать появления этих нежелательных явлений.

Разработанные в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины АТП с повышенной стойкостью при испытании на термостойкость показали результаты, сопоставимые с результатами лучших зарубежных фирм.

В целях дополнительной информации об эксплуатационной стойкости испытуемых АТП были проведены их сравнительные испытания с серийно выпускаемыми АТП и PDC зарубежных фирм. Усредненные результаты испытаний показаны на рис. 7.

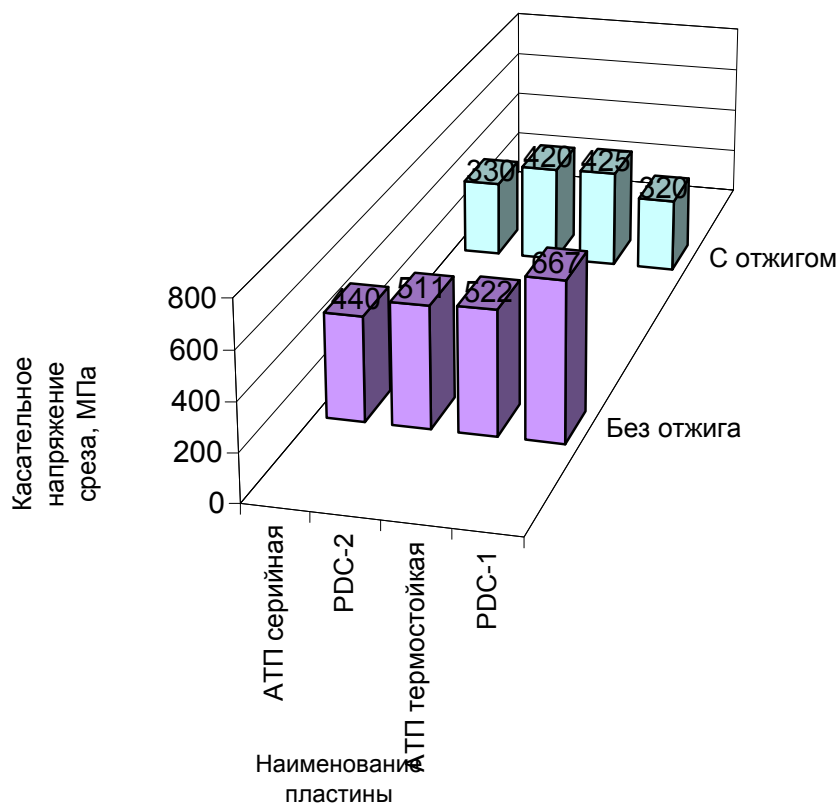


Рис. 7. Сравнительная характеристика касательных напряжений среза алмазосносного слоя высотой 1 мм для пластин в отожженном и не отожженном состояниях.

Как видим, наивысшее значение $\tau_{ср}$ в нетермообработанном состоянии имеют PDC-1. Однако после термообработки срезавшие нагрузки в них уменьшились на 52 % и находятся, как и в АТП серийного производства, на границе допустимых значений. Для термостойкие АТП и PDC-2 характерны высокие значения $\tau_{ср}$ в нагретом состоянии и снижающиеся в допустимых пределах – до 20 %, (см. таблицу).

Таблица. Уровни снижения касательных напряжений среза пластин в зависимости от высоты алмазосносного слоя и термообработки

Показатель	Наименование пластины							
	АТП термостойкая			АТП серийная		PDC-1		PDC-2
	Высота алмазосносного слоя, мм							
	0,8	1,0	1,2	0,7	1,0	1,0	1,8	1,0
Уровень снижения $\tau_{ср}$ в зависимости от толщины алмазосносного слоя, %	0	11	22	0	37	0	11	–
Уровень снижения $\tau_{ср}$ после термообработки, %	20	19	17	17	25	52	23	18

Приведенные в таблице результаты испытаний двухслойных пластин свидетельствуют о том, что увеличение толщины алмазосносного слоя на 0,2 мм приводит к снижению $\tau_{ср}$ на 11%, а термообработка пластин – на 20 %.

Двухслойные пластины, в которых $\tau_{ср}$ превышает указанные значения использовать для изготовления бурового инструмента не рекомендуется.

4. Выводы

1. Разработана методика экспериментальных исследований прочности соединения двухслойных АТП, позволяющая оценивать качество соединения слоев методом разрушающего контроля, а также выявлять недостатки технологии спекания для их последующего устранения.
2. Для повышения качества двухслойных алмазосодержащих пластин необходимо использовать твердосплавную смесь (из которой изготавливаются подложки пластин), очищенную от примесей.
3. Увеличение толщины алмазосносного слоя приводит к уменьшению $\tau_{ср}$ для исследуемых пластин на 11–37%.
4. Установлено, что во время термообработки пластин при температуре, соответствующей их предельной термостойкости, в течении 3 мин. снижается прочность соединения алмазосносного слоя с твердосплавной подложкой на 17–52 %.

Библиографический список

1. Л.Ф.Стасюк, М.П.Мельник, Н.А.Бондаренко и др. Термостойкие АТП и результаты их применения в буровых инструментах ИСМ // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2006.- Вып. 9.–С. 25–30.
2. Б.А. Олейников. Метод оценки работоспособности алмазно-твердосплавных пластин // Синтетические сверхтвердые материалы в геолого-разведочном бурении. Сб. науч. тр.-К.: Изд-во ИСМ АН УССР, 1987.–С. 114–116.
3. В.Г.Гаргин Некоторые физико-механические свойства алмазно-твердосплавных пластин, используемых в буровом инструменте // Синтетические сверхтвердые материалы в буровом инструменте. Сб. науч. тр.К.: Изд-во ИСМ АН УССР, 1988.–С. 4–7.
4. Отчет по договору № 2683 “Разработка и внедрение долот типа ИСМ АП 214,3 для бурения наклонных скважин в условиях ПО Красноленинскнефтегаз”: № 5962 Архив ИСМ.–К.,1990–85 с.

5. Звіт по договору № 3880 “Розробка та виготовлення доліт ріжучої дії \varnothing 292,9 і \varnothing 214,3 мм, оснащених породоруйнівними елементами нового рівня для буріння порід середньої твердості.”-К., 2005–96 с.
6. Н.А.Бондаренко, А.С.Осипов, В.А.Мечник и др. Буровой инструмент, оснащенный термостойкими режущими вставками АТП // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ: Держ. міжвідом. Наук.-техн.зб.-Івано-Франківськ: Вид-во ІФТУНГ, 2007.- Вип. 4.-С. 14–18.

© Бондаренко Н. А., Коростышевский Д. Л., Осипов А. С., Мечник В. А., 2010.

Анотація

Представлені методика та результати досліджень міцності з'єднання двохшарових алмазотвердосплавних пластин. Встановлено, що в термооброблених палатинах міцність зєднання шарів знижується на 17–52 %, а при збільшенні алмазовміщуючого шару дотичні напруження зрізання зменшуються на 11–37 %.

Ключеві слова: міцність, двохшарові алмазотвердосплавні пластини, термообробка, домішки.

Abstract

Methodology and results of research of two-layer diamond-hard alloy plates are presented.

Keywords: strength, two-layer diamond-hard alloy plate, thermal treatment, impurities.