

Л.Н. Федоров, С.А. Ермаков

ПРОЧНОСТЬ ПЛАСТИН-РЕЗЦОВ ИЗ ТВЕРДЫХ И СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ КЛИНОВОГО ЗАЖИМА

Аннотация. Приведена схема имитации клинового зажима резцов буровой коронки на действующем стенде для испытания инструментальных материалов. Испытуемые материалы представлены в виде пластин-резцов и зажимаются твердосплавными пластинами, имитирующими клиновой зажим. Дано описание нажимного устройства для инициирования разрушения консоли испытываемой пластины. Суть испытаний заключается в зажиме одной половины пластины-резца давлением пресса в диапазоне 250–7500 кН и обломе другой половины усилием нагружающего устройства при разных давлениях зажима. Данные критических напряжений после статической обработки приведены в таблицах. Построены кривые зависимости удельной прочности пластин-резцов из твердого сплава ВК6 и нанокompозитов из кубического нитрида бора марок MBR6010 и MBR7010 в зависимости от давления зажима. Из-за малого количества последних в наличии (высокая стоимость) не удалось проследить характер изменения прочности этих материалов. Однако установлена низкая прочность пластин-резцов из КНБ даже при усилиях зажима, не отвечающих надежной работе клинового крепления. Кривая прочности твердых сплавов имеет максимум при давлении зажима в 200 МПа. При давлении до 200 МПа прочность как бы с ростом давления зажима растет, и разрушение происходит в зоне зажима. После максимума прочность ВК6В резко падает, и затем кривая выполаживается. Дано объяснение такому характеру зависимости прочности ВК6В от изменения давления зажима. Сделан вывод, что в клиновом креплении твердосплавных или двухслойных пластин с твердосплавной подложкой нерабочая часть может быть заклинена усилием зажима до 200 МПа.

Ключевые слова: прочность, нанокompозит MBR6010 и MBR7010, клиновой зажим, пластины-резцы, твердый сплав, давление зажима, разъемное крепление.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-142-150

Введение

Идея съемного крепления твердосплавных резцов механическим способом появилась в середине прошлого столетия. Но с развитием технологии пайки твердых сплавов и удешевлением производства последних механическое крепление резцов в буровых коронках утратило свою актуальность. Только в металлообработке съемное механическое крепление современных дорогостоящих многогранных пластин-резцов сделало их применение очень эффективным [1]. При бурении скважин силовые нагрузки,

действующие на резец, т.е. и на крепление, в разы больше. А это, в первую очередь, требует более надежных способов крепления. Отсутствие таковых затормозило в буровых коронках применение современных износостойких и с высокой стоимостью резцов, так как случайный облом или аномальный износ одного паяного резца ведет к снятию с работы коронки при достаточной работоспособности остальных. Современные способы упрочнения алмазно-твердосплавных пластин (АТП), например, криомагнитный или лазерный [2, 3], не ре-

шают кардинально вопрос повышения ударостойкости инструментальных износостойких материалов. Во всем мире в этом направлении интенсивно ведутся значимые работы [4–6]. При этом, как показывает опыт, паяемость новых сверхтвердых материалов только ухудшается, но пайке пока альтернативы нет. Кроме этого следует также упомянуть, что установка многогранных резцов на новые, неизношенные кромки при любом случае требует разъемного крепления резцов. В силу вышесказанного актуальность разработки разъемного крепления резцов в будущем будет только возрастать.

Цель исследования

Как было показано в работе [7], чисто клиновое крепление резцов в буровых коронках, ввиду предварительного сильного давления в области зажима, не обладает достаточным ресурсом сопротивления силам резания даже в породах ниже средней крепости. В связи с этим в ИГДС СО РАН разработан новый способ съемного свароклинового крепления пластин-резцов из алмазотвердосплавных пластин (АТП) и композитов из кубического нитрида бора (КНБ) с твердосплавной подложкой и со стальным хвостовиком [8].

Достоинством нового крепления является возможность переустановки изношенной режущей кромки резца на новые рабочие или смены обломленного на новый резец. Это позволяет полностью использовать ресурс всех установленных на буровом инструменте резцов. Однако реализация свароклинового крепления требует определения допустимых усилий зажима клиновой частью крепления. Отсюда возникает задача определения допустимого усилия клинового зажима на режущую часть из АТП или кубического нитрида бора (КНБ). Решение поставленной задачи проводится экспе-

риментальным путем. В качестве экспериментальной задачи рассматривается прочность пластин-резцов из различных инструментальных материалов, зажатых усилием клинового крепления в буровой коронке.

На стенде усилие клинового зажима имитируется силой давления прессы через давяльную пластину на зажимные твердосплавные пластины-подложки, а забойные силовые нагрузки — винтовым нажимным устройством.

Целью экспериментальных работ является установление характера влияния усилия клинового зажима твердосплавных пластин-резцов со сверхтвердым покрытием в буровых коронках на их прочность при бурении.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработать, изготовить и смонтировать на стенд устройство для статического нагружения резцов с целью их разрушения;
- оснастить камнерезный и шлифовальный станки новыми алмазными инструментами для обработки пластин из твердого сплава и КНБ;
- провести экспериментальные исследования влияния усилия механического зажима пластин-резцов в буровых коронках на их прочность при бурении.

Экспериментальное решение подобных задач в динамической постановке было ранее выполнено нами на стенде, описание которого с измерительной системой и составом приборов приводится в [9]. Система достаточно универсальна и возможно ее применение для измерения динамической и статической прочности различных инструментальных материалов с применением тензодатчиков. Здесь мы только приведем заимствованную схему имитации на стенде клинового зажима пластины-резца и забойной нагрузки, обламывающей вылет резца из корпуса коронки (рис. 1).

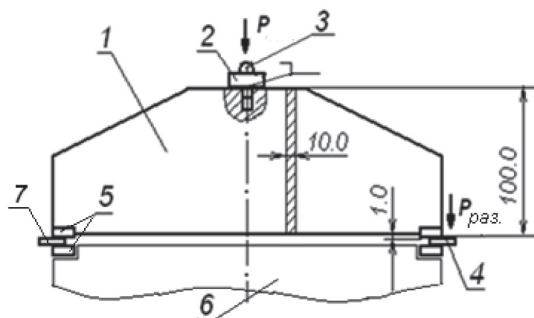


Рис. 1. Схема нагружения пластин-резцов при испытании: 1 – пластина давяльная; 2 – пята опорная; 3 – шарик, диаметр 15 мм; 4 – пластина-резец из инструментального материала; 5 – пластина твердосплавная; 6 – нижняя плита пресса ДМ30; 7 – пластина для выравнивания; P – сила давления пресса на давяльную пластину; $P_{\text{раз}}$ – статическая нагрузка для разрушения пластины
 Fig. 1. The scheme of loading of samples in the form of plates during the test: 1 – plate press; 2 – heel support; 3 – ball, diameter 15 mm; 4 – cutting plate from Instrumental material; 5 – carbide plate; 6 – bottom plate of press DM30; 7 – plate for alignment; P – is the force of pressure on the pressure plate; P_{fract} – static loading to fracture of the plate

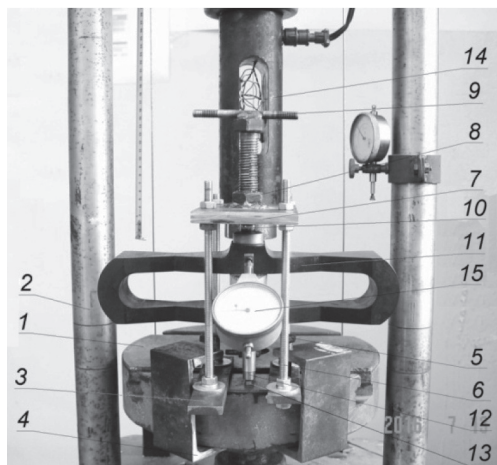


Рис. 2. Общий вид нажимного устройства для испытания на прочность инструментальных материалов: 1 – нижняя плита пресса; 2 – стойка пресса; 3 – планка; 4 – зажим винтовой; 5 – болт зажимной; 6 – болт стяжной; 7 – пластина; 8 – гайка приварная; 9 – винт с ручкой для вращения; 10 – шарик; 11 – динамометр; 12 – проставка давяльная с твердосплавной вставкой; 13 – испытуемый образец; 14 – датчик усилия зажима испытуемого образца; 15 – индикатор часового типа
 Fig. 2. General view of the static loading unit for testing on the strength of tool materials: 1 – lower plate of the press; 2 – press stand; 3 – lath; 4 – clamp screw; 5 – bolt tightening; 6 – tie rod bolt; 7 – plate; 8 – welded nut; 9 – bolt with handle for rotation; 10 – ball; 11 – dynamometer; 12 – spacer crushing carbide insert; 13 – test sample; 14 – force sensor clamping of the test specimen; 15 – indicator of the watch type

Имитация усилия зажима клином осуществляется давлением P пресса стенда через давяльную пластину 1, пяту 2 и шарик 3. Зажим пластины-резца 4 осуществляется твердосплавными пластинами 5, приклеенными к нижней плите 6 пресса ДМ30 и давяльной пластине 1. При этом под другим концом давяльной пластины для выравнивания ее положения устанавливается пластина 7, с толщиной равной толщине пластины-резца 4.

Имитация забойных разрушающих резцы нагрузок выполняется вертикальной разрушающей нагрузкой $P_{\text{раз}}$ посредством винтового нажимного устройства (рис. 2). Устройство собрано на подвижной нижней плите 1 пресса со стойками 2. Планки 3 зажимными винтами 4 и болтами 5 крепятся на плите 1 и стяжными болтами 6 соединяются с верхней пластиной 7, на которой приварена гайка под нажимной винт 9 с ручкой для вращения. Осевое усилие при вращении винта 9 через шарик 10 и динамометр 11 передается давяльной проставке 12 с твердосплавной вставкой, которая давит на консоль зажатой испытуемой пластины 13. Усилие зажима пластины измеряется с помощью тензодатчика 14, а усилие давления на

Имитация забойных разрушающих резцы нагрузок выполняется вертикальной разрушающей нагрузкой $P_{\text{раз}}$ посредством винтового нажимного устройства (рис. 2). Устройство собрано на подвижной нижней плите 1 пресса со стойками 2. Планки 3 зажимными винтами 4 и болтами 5 крепятся на плите 1 и стяжными болтами 6 соединяются с верхней пластиной 7, на которой приварена гайка под нажимной винт 9 с ручкой для вращения. Осевое усилие при вращении винта 9 через шарик 10 и динамометр 11 передается давяльной проставке 12 с твердосплавной вставкой, которая давит на консоль зажатой испытуемой пластины 13. Усилие зажима пластины измеряется с помощью тензодатчика 14, а усилие давления на

консоль пластины показывает индикатор 15 динамометра 11. Для проведения испытаний на статическую прочность пластины зажимаются подачей нижней плиты пресса вверх, а усилие зажима устанавливается по графику роста нагрузки на мониторе ПК.

Ход проведения эксперимента

Экспериментальные работы проводятся на стенде в соответствии с вышеприведенным описанием работы давящей пластины и нагружающего устройства. Количество опытов при одном усилии зажима принимаем для твердосплавных пластин равным 7–9. Для композитов из КНБ, ввиду их малого количества из-за высокой стоимости, диапазон экспериментальных точек и количество опытов на этих точках были снижены, соответственно, до 3 и 5. Л.И. Барон рекомендует при внедрении штампа в разные породы 6–9 опытов [10]. В случае более однородных материалов, как инструментальные, принятие при прочностных испытаниях такого и даже меньшего количества опытов, как в работе [11], считаем вполне правомерным. При выборе усилия зажима пластин следует учесть предел устойчивости формы корпуса реальной коронки. К примеру, при нагрузке по радиусу 120 кгс корпус коронки диаметром 76 мм уже начинает деформироваться. Однако в случае зажима клином на отдельные секторы корпуса коронки действуют перпендикулярно радиусу усилия сжатия, что естественно является положительным фактором. Реально в цанговых металлообрабатывающих инструментах усилие зажима достигает 3 кН.

Исходя из вышеприведенных сообщений и данных предварительных экспериментов с испытуемыми материалами, принят диапазон усилий зажима от 0,25 до 7,5 кН. Наблюдая за стрелкой индикатора динамометра, вращаем руч-

ку нажимного механизма, чтобы скорость нагружения не превышала 30 МПа/с. [12]. В момент облома консоли или разрушения зажатой части пластины-образца фиксируем критическую нагрузку на пластину. Статистическую обработку результатов измерений проводим по рекомендациям А.Г. Козлова [13].

Все контактирующие поверхности в зоне зажима не должны иметь какие-

Таблица 1

Зависимость удельной прочности пластин MBR 6010 от давления зажима
The dependence of the strength of the plates MBR6010 from clamping forces

Удельное давление зажима, МПа	Удельная прочность, МПа
39	36
77	27
116	21

Таблица 2

Зависимость удельной прочности пластин MBR 7010 от давления зажима
Dependence of specific strength of MBR 7010 plates on clamping force

Удельное давление зажима, МПа	Удельная прочность, МПа
10	20
21	26
31	17

Таблица 3

Зависимость удельной прочности пластин VK6B от давления зажима
Dependence of the specific strength of the plates VK6V clamping force

Удельное давление зажима, МПа	Удельная прочность, МПа
51	118
102	142
153	164
204	183
255	116
306	111

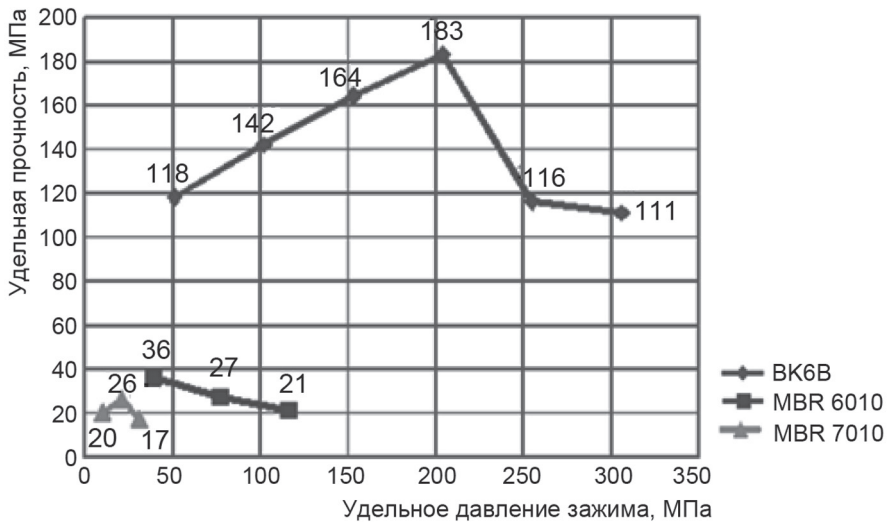


Рис. 3. Зависимость давления разрушения пластин MBR 6010, MBR 7010 и BK6B от давления зажима

Fig. 3. Dependence of plate breaking pressure MBR 6010, MBR 7010 and BK6B from clamping force

либо выпуклости, вогнутости и не параллельности плоскостей пластин-резцов. При наличии таковых они должны удаляться шлифованием, придав шероховатость опорным поверхностям порядка Ra3,2 [12]. Также все кромки пластин во избежание концентрации напряжений от усилия зажима и действующей нагрузки должны иметь радиус закругления не менее 1,2–1,6 мм, как принято в съемных многоугольных пластинах в металлообработке.

Зажим испытываемой пластины проводится прессом через давящую пластину (рис. 1), а статическое нагружение осуществляется винтовым нажимным устройством, как описано выше, до разрушения. Так как усилие нажима на консоль зажатой пластины фиксируется, то оно легко считывается с часового индикатора динамометра (рис. 2). Полученные данные по статической прочности пластин из нанокompозита кубического нитрида бора марок MBR 6010 и MBR 7010 и твердого сплава BK6B как средние арифметические от 5 до 7–9 измерений представлены в табл. 1–3.

Построенные по этим таблицам кривые сведены в один рисунок (рис. 3).

Обсуждение результатов

Анализ полученных кривых показывает, что нанокompозиты кристаллического нитрида бора по прочности многократно уступают твердому сплаву, поэтому их применение в виде цельных резцов или пластин в бурении нецелесообразно.

На рис. 3 также видно, что кривая зависимости прочности пластин-резцов из твердого сплава с увеличением давления зажима сначала растет вверх, т.е. она как бы упрочняется, затем, достигнув максимума, снижается и, наконец, начинает вылаживаться. Такое поведение нитрида бора и лонсдейлита в условиях высоких давлений, порядка нескольких гигапаскаль, наблюдали физик Чангфенг Чен из Университета штата Невада, и его коллега Цзяо Тун из Шанхайского университета в Китае [14]. Объясняют это они тем, что под большим давлением гибкие связи в кристаллах переходят в жесткие, вследствие чего структура кристаллов приближается к

кубическому. Однако в нашем случае такому эффекту «упрочнения» можно найти другое объяснение.

До приложения нагрузки на консоль пластины усилие зажима распределено равномерно по длине зажатой части пластины, но зазоры в системе нагружения (все узлы и механизмы стенда, передающие усилие от ручного привода на зажимные пластины) еще не выбраны, т.е. система не жесткая. Но картина резко меняется, когда на консоль пластины приложена разрушающая нагрузка. Под действием этой нагрузки зажатый конец пластины, преодолевая сопротивление усилия зажима, начинает давить на верхнюю зажимную пластину. При этом на кромке пластины максимально локализуется ранее распределенное усилие зажима, и она разрушается (рис. 4).

При последующем увеличении усилия зажима под ее действием система нагрузки выбирает все больше зазоров в сочленениях, и становится более жесткой, поэтому при нагрузке на консоль, площадь упругой деформации в зоне контакта на конце пластины будет расти. Вследствие этого для ее разрушения нужно приложить нагрузку большую, чем при меньшем усилии зажима. На кривой мы это наблюдаем до удельного

давления зажима 200 МПа. При нагрузке на консоль напряжение на конец пластины не локализуется, и разрушение происходит в районе передней кромки зажимной пластины. При дальнейшем увеличении усилия зажима характер зависимости статической прочности твердого сплава сначала резко падает, затем выполаживается. Это объясняется тем, что при давлении выше 200 МПа зажим становится все жестче, поэтому оно начинает сильно влиять на напряженное состояние в передней зоне зажима испытываемой пластины.

С ростом усилия зажима растет напряженное состояние, а нагрузка на консоль доводит до критического состояния и обламывает консоль пластины. Причем чем выше усилие зажима, тем меньше нагрузки необходимо на консоль, чтобы довести ее до разрушения. Поэтому с ростом давления зажима при жестком креплении прочность консоли падает.

В свете вышесказанного можно сделать вывод о том, что полученная зависимость будет справедлива для жесткого клинового крепления с усилием зажима 200 МПа и выше, а результаты, полученные в условиях нежесткой работы зажима, не приняты во внимание.

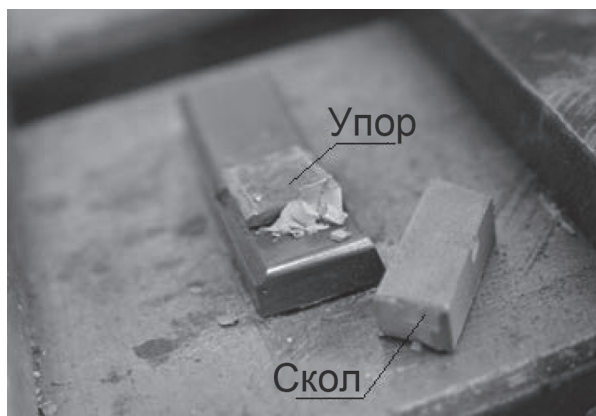


Рис. 4. Скол испытываемой пластины по кромке задней грани в зоне зажима
Fig. 4. Cleavage of the test plate along the edge of the back face in the clamping area

Как показывают вышеприведенные кривые, при зажиме пластин-резцов из твердого сплава усилием, оказывающим давление на резец порядка 200 МПа, он имеет прочность 183 МПа, в то время как паяный резец в зоне пайки — от 200 до 320 МПа. Заметим, что в настоящее время паяные резцы применяются эффективно в режиме вращательного бурения в породах не выше средней крепости (VII категория по буримости). Исходя из этого, можно предположить, что клиновое крепление при вращательном бурении может быть работоспособным в породах мягких и, частично, ниже средней твердости.

Заключение

Полученные результаты экспериментальных исследований показали, что в

разъемном свароклиновом креплении пластин-резцов типа алмазно-твердосплавных пластин (АТП) режущая часть последних не должна зажиматься усилием, оказывающим давление более 200 МПа. При этом сверхтвердое покрытие должно иметь толщину не более 0,5–0,8 мм для придания определенной гибкости пластине-резцу. Общая прочность свароклинового крепления пластин-резцов со стальным хвостовиком может быть оценена после соответствующих исследований.

Однако, зная, что сварка более прочное соединение, чем клиновое и пайка, обоснованно можно предположить, что комбинированное свароклиновое крепление резцов буровых коронок может быть достаточно надежным при бурении пород выше средней крепости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васин С. А., Хлудов С. Я. Проектирование сменных многогранных пластин. Методологические принципы. — М.: Машиностроение, 2006. — 352 с.
2. Третьяк А. А. Теоретическое обоснование, разработка конструктивных параметров технологии бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами: Дис. докт. техн. наук. — Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова, 2017. — 319 с.
3. Пинахин И. А., Черниговский В. А., Брацихин А. А. и др. Исследование физико-механических свойств твердых сплавов ВК6, ВК8 и Т5К10, прошедших объемное импульсное лазерное упрочнение // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2017. — Т. 83, № 3. — С. 37–40.
4. Narayan J., Gupta S., Bhaumik A., Sachan R., Cellini F., Riedo E. Q-carbon harder than diamond. *MRS Communications*, 8(2), (2018), pp.428–436.
5. Solopova N. Dubrovinskaya N., Dubrovinsky L. Synthesis of nanocrystalline diamond from glass carbon balls. *J. Cryst.* 412, (2015), pp. 54–59. Google Scholar.
6. Le Guillou C., Brunet F., Irifune T., Ohfuji H., Rouzaud J.-N. Nanodiamond nucleation below 2273K at 15GPa from carbons with different structural organizations. *Carbon* 45, (2007), pp. 636–648. Cross Ref Web of Science Google Scholar.
7. Федоров Л. Н., Ермаков С. А. Экспериментальные исследования статической и динамической прочности пластин-резцов из твердых и сверхтвердых материалов в условиях клинового зажима / Science in the modern information society XIV: Материалы XIV Международной науч.-прак. конф. North Charleston, USA, 23–24 January 2018. Create Space. — North Charleston, USA, 2018. Vol. 3. P. 13–18.
8. Федоров Л. Н., Ермаков С. А., Иванов И. И., Ткаченко В. В., Шипков А. Н. Патент РФ № 2631756, 26.09.2017. Способ разъемного крепления пластин-резцов с двумя или тремя сверхтвердыми слоями и твердосплавной подложкой. 2016, Бюл. № 27 (II ч.).
9. Ермаков С. А. и др. Исследование разупрочнения поверхностного слоя пород в зависимости от шероховатости и температуры при нагреве трением фрикционных элементов породоразрушающего инструмента: отчет о НИР. — Якутск: ИГДС им Н.В. Черского СО РАН, 2008. — 68 с.
10. Барон Л. И., Глатман Л. Б. Контактная прочность горных пород. — М.: Недра, 1966. — 228 с.

11. Петров К. Г., Усманов З. И., Лукьянов А. А. и др. Применение методик математического планирования экспериментов для оптимизации параметров диффузионной сварки твердых сплавов со сталями / Молодежный научный форум: технические и математические науки: электр. сб. ст. по мат. XXIX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 10 (29). url: [https://nauchforum.ru/archive/mnf_tech/10\(29\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/mnf_tech/10(29).pdf) (дата обращения: 18.09.2018).

12. ГОСТ 25.503-97. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие. Сб. стандартов. — М.: Стандартинформ, 2005. — 35 с.

13. Козлов А. Г. Планирование и обработка результатов эксперимента: методическое пособие для студ. физ.-мат. и инст. техн. ф-тов. — Якутск: Якут. гос. ун-т, 1977. — 54 с.

14. Zicheng Pan, Hong Sun, Yi Zhang, Changfeng Chen Harder than Diamond: Superior Indentation Strength of Wurtzite BN and Lonsdaleite, *Physical Review Letters* 102, 055503 (2009). URL: <https://www.newscientist.com/article/dn16610-diamond-no-longer-natures-hardest-material/> **ИВАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Федоров Лазарь Николаевич¹ — научный сотрудник,
e-mail: Infedorov@mail.ru,

Ермаков Сергей Александрович¹ — кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, зав. лабораторией,

¹ Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 12, pp. 142–150.

Strength of inserts made of hard and superhard materials under wedge clamping action

Fedorov L.N.¹, Researcher, e-mail: Infedorov@mail.ru,

Ermakov S.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Laboratory

¹ Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 677018, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Abstract. Simulation of wedge clamping action on cutter bit inserts is carried out on a test bench for tool materials. In the tests, cutter bits were placed between tungsten carbide inserts simulating wedge clamping. The pressing device to initiate destruction of the test inserts is described. One half of a cutter bit is clamped under the pressing force in the range of 250–7500 kN while the other half of the bit is subjected to loading until failure. The critical stresses after static treatment are given in the tables. The strength of the inserts made of VK6 hard alloy, CBN and nanocomposites MBR6010 and MBR7010 is plotted versus the clamping pressure. The behavior of strength of the latter materials was studied poorly in view of their unavailability due to high cost. However, it is found that the CBN inserts exhibit low strength even under the clamping force below the standard value of reliable operation of the wedge clamp. The strength curve of the hard alloy inserts has the peak value at the clamping pressure of 200 MPa. Under the pressure up to 200 MPa, the strength grows with the increasing clamping pressure and failure takes place in the clamping zone. After the peak value, VK6V insert strength drops and, then, the strength curve flattens. This strength behavior of VK6V inserts under the varied clamping pressure is explained. The conclusion is drawn that the wedge clamping pressure for the non-operating parts of tungsten carbide inserts or two-layer inserts with tungsten carbide base should be not higher than 200 MPa.

Key words: strength, MBR6010 and MBR7010 nanocomposites, wedge clamping, inserts, hard alloy, clamping pressure, detachable fixing.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-142-150

REFERENCES

1. Vasin S.A., Khludov S.Ya. *Proektirovanie smennykh mnogogrannykh plastin. Metodologicheskie printsipy* [Design of replaceable multi-faced inserts. Methodological framework], Moscow, Mashinostroenie, 2006, 352 p.

2. Tretyak A.A. *Teoreticheskoe obosnovanie, razrabotka konstruktivnykh parametrov tekhnologii bureniya skvazhin koronkami, armirovannymi almazno-tverdospлавными пластинami* [Theoretical substantiation

and development of design parameters for drilling bits with tungsten carbide inserts], Doctor's thesis, Novocherkassk, YURGPU (NPI) im. M.I. Platova, 2017, 319 p.

3. Pinakhin I. A., Chernigovskiy V. A., Bratsikhin A. A. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv tverdykh splavov VK6, VK8 i T5K10, proshedshikh ob'emnoe impul'snoe lazernoe uprochnenie [Analysis of physical and mechanical properties of VK6, VK8 and T5K10 hard alloys after three-dimensional pulse laser reinforcement], *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2017, vol. 83, no 3, pp. 37–40. [In Russ].

4. Narayan J., Gupta S., Bhaumik A., Sachan R., Cellini F., Riedo E. Q-carbon harder than diamond. *MRS Communications*, 8(2), (2018), pp.428–436.

5. Solopova N. Dubrovinskaya N., Dubrovinsky L. Synthesis of nanocrystalline diamond from glass carbon balls. *J. Cryst.* 412, (2015), pp. 54–59. Google Scholar.

6. Le Guillou C., Brunet F., Irifune T., Ohfuji H., Rouzaud J.-N. *Nanodiamond nucleation below 2273K at 15GPa from carbons with different structural organizations. Carbon* 45, (2007), pp. 636–648. Cross Ref Web of Science Google Scholar.

7. Fedorov L. N., Ermakov S. A. Eksperimental'nye issledovaniya staticheskoy i dinamicheskoy prochnosti plastin-reztsov iz tverdykh i sverkh-tverdykh materialov v usloviyakh klinovogo zazhima [Experimental research into static and dynamic strength of hard and superhard inserts under wedge clamping], *Science in the modern information society XIV: Proceedings of the XIV International scientific-practical conference*, North Charleston, USA, 23–24 January 2018. Create Space. North Charleston, USA, 2018. Vol. 3. P. 13–18.

8. Fedorov L. N., Ermakov S. A., Ivanov I. I., Tkachenko V. V., SHipkov A. N. *Patent RU 2631756*, 26.09.2017.

9. Ermakov S. A. *Issledovanie razuprochneniya poverkhnostnogo sloya porod v zavisimosti ot sherokhovatosti i temperatury pri nagreve treniem friktsionnykh elementov porodorazrushayushchego instrumenta: otchet o NIR* [Analysis of surface layer softening in rocks depending on breaking tool roughness and friction heat: Research report], Yakutsk, IGDS im N.V. Cherskogo SO RAN, 2008, 68 p.

10. Baron L. I., Glatman L. B. *Kontaktnaya prochnost' gornyykh porod* [Contact strength of rocks], Moscow, Nedra, 1966, 228 p.

11. Petrov K. G., Usmanov Z. I., Luk'yanov A. A. Primenenie metodik matematicheskogo planirovaniya eksperimentov dlya optimizatsii parametrov diffuzionnoy svarki tverdykh splavov so stalyami [Implementation of mathematical planning procedures for the optimization experiments on diffusion welding of hard alloys and steel], *Molodezhnyy nauchnyy forum: tekhnicheskije i matematicheskije nauki: elektronnyy sbornik statey po materialam XXIX mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, no 10 (29). url: [https://nauchforum.ru/archive/mnf_tech/10\(29\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/mnf_tech/10(29).pdf) (accessed: 18.09.2018).

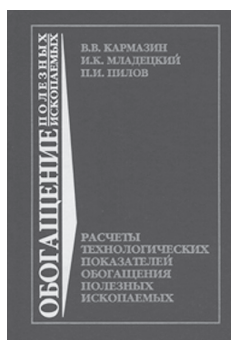
12. *Raschety i ispytaniya na prochnost'. Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Metod ispytaniya na szhatie GOST 25.503-97* [Strength calculation and testing. Mechanical tests of metals. Compression test State Standart 25.503-97], Moscow, Standartinform, 2005, 35 p.

13. Kozlov A. G. *Planirovanie i obrabotka rezul'tatov eksperimenta: metodicheskoe posobie dlya studentov* [Planning of experiments and processing of experimental results: methodical manual for high schools], Yakutsk, YaGU, 1977, 54 p.

14. Zicheng Pan, Hong Sun, Yi Zhang, Changfeng Chen *Harder than Diamond: Superior Indentation Strength of Wurtzite BN and Lonsdaleite*, *Physical Review Letters* 102, 055503 (2009). URL: <https://www.newscientist.com/article/dn16610-diamond-no-longer-natures-hardest-material/>



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Кармазин В.В., Младецкий И.К., Пилов П.И.

Расчеты технологических показателей обогащения полезных ископаемых

Год: 2018

Страниц: 228

ISBN: 978-5-98672-491-1

UDK: 622.778

В соответствии с учебной программой изложена методика решения задач по оценке свойств горных пород, выбору горного и транспортного оборудования, соответствующего условиям индивидуальных заданий, по расчету важнейших параметров и показателей буровых, взрывных, выемочно-погрузочных работ, а также работ по транспортированию и складированию горных пород. Дана последовательность решения задач по каждому технологическому процессу и по обоснованию их взаимосвязи.

Приведена необходимая информация по технологическим параметрам и показателям работы основного горно-транспортного оборудования. Для студентов, обучающихся по специальности «Открытые горные работы» направления подготовки «Горное дело».