

Таблица – Типовые примеры результатов волновых обработок водяных скважин на Юге России (Волгоградская обл, Ставропольский край, Калмыкия)

№ п/п	Дата обработки скв.	№ скважины, район	Интервал обработки, М	Тип коллектора	Наличие фильтра	Дебит, м3/сут		
						первоначальный	до	после
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	09.94	13А-Выезд	22-30	песчан.	Фильтр	-	10	60
6	10.94	11-Выезд	23-28	песчан.	Фильтр	-	7	16
7	10.94	12-Выезд	23,5-29,5	песчан.	Фильтр	-	3	14
9	11.94	15-Выезд	36,5-38,5	песчан.	Фильтр	-	10	24
4	12.94	7-Выезд	60-73	песчан.	Фильтр	-	5	24
1	02.95	7-Грачи	42,5-43,5	песчан.	Фильтр	12	0	16
14	03.95	5-Урюпинск	54-80	известн.	б/ф	120	0	120
5	04.95	9Б-Выезд	18,1-30	песчан.	Фильтр	-	10	30
3	06.95	18-Грачи	38-44	песчан.	Фильтр	10	7,2	20
20	06.95	1-Алексеевск	20-29	песчан.	Фильтр	нет	7,3	15
21	07.95	2-Алексеевск	22-31	песчан.	Фильтр	-	6	15
22	07.95	3-Алексеевск	24-31	песчан.	Фильтр	-	7	10
23	07.95	4-Алексеевск	30-38	песчан.	Фильтр	-	6	14
24	07.95	5-Алексеевск	20-29	песчан.	Фильтр	-	0	14
2	08.95	13-Грачи	35-51	песчан.	Фильтр	45	45	72
11	11.95	2-Урюпинск	40-76	известн.	б/ф	18	18	70
12	12.95	3-Урюпинск	36-50	известн.	б/ф	18	15	90
13	12.95	4-Урюпинск	45-58	известн.	б/ф	60	15	115
15	01.96	7-Урюпинск	42-50	песчан.	б/ф	100	50	100
19	02.96	20-Елань	166-182	песчан.	Фильтр	16	0	36
18	03.96	19-Елань	172-188	песчан.	Фильтр	16	16	27
26	04.96	8-Ольховская	33-39	песчан.	Фильтр	5	5	23
27	04.96	9-Ольховская	34-39	песчан.	Фильтр	нет	0	25
29	04.96	1-Качалино	35-41	песчан.	Фильтр	4	4	16
10	05.96	4А-Выезд	19-26,4	песчан.	Фильтр	-	10	18
16	05.96	14-Елань	188-200	песчан.	б/ф	10	0	10

25

Продолжение таблицы

17	05.96	15-Елань	185-189	песчан.	Фильтр	8	8	36
30	05.96	3/94-Ср.Пруды	115-125	песчан.	Фильтр	2,5	2,5	7
28	06.96	10-Лог	110-120	песчан.	Фильтр	-	0	12
31	06.96	1-Солодча	64-71	песчан.	Фильтр	нет	0	18
25	07.96	2-Ольховская	33-39	песчан.	Фильтр	6	0	18
32	06.97	1-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	7	2,7	6,4
34	07.97	3-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	9	2,7	9
33	08.97	2-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	10	3	12
35	08.97	4-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	9	2,3	8,7
36	08.97	5-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	12	6	10
37	08.97	6-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	12	2	9,58
38	08.97	7-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	10	3,5	8
40	09.97	3-Николаевск	38-49	песчан.	Фильтр	75	40	120
39	10.97	1-Николаевск	39-53	песчан.	Фильтр	75	40	120
41	10.97	4-Николаевск	38-49	песчан.	Фильтр	50	25	78
42	10.97	12-Николаевск	38-49	песчан.	Фильтр	40	30	60
43	04.98	Ново-Николаев	110-122	песчан.	Фильтр	10	0	25
44	05.98	1-Фролово	25,4-35,9	песчан.	Фильтр	18	14	24
45	05.98	9Б-Фролово	17-29	песчан.	Фильтр	18	0	29
46	08.98	1-Суворикино	20-30	песчан.	Фильтр	20	5	30
47	11.98	Н.Чир	190-210	песчан.	б/ф	5	0	10
48	02.99	Н.Чир	190-210	песчан.	б/ф	5	0	10
49	06.99	Ольховка	43-50	песчан.	Фильтр	8	3	15
50	06.99	Ольховка	43-50	песчан.	Фильтр	8	3	15
54	07.99	Дубовка	400-405	песчан.	б/ф	25	0	25
52	08.99	Калмыкия-Элиста	50-60	песчан.	Фильтр	30	16	40
53	08.99	Клетский	40-52	песчан.	Фильтр	8	5	15
51	09.99	Рудня	135-145	песчан.	б/ф	8	5	10

ПРИМЕЧАНИЕ: Всего обработано более 1000 скважин различного назначения

Волновое поле действует с различными силами на частицы многокомпонентной (многофазной) среды, обладающими различным волновым сопротивлением. Поэтому будет иметь место бесконтактное разделение жидкостей и включений, в том числе осаждение взвесей в жидкостях.

Волны генерируются на устье скважины (на поверхности), передаются вдоль скважины по магистральному (жидкостному) волноволу до коллектора,

26

где их отражают и направляют вдоль коллектора. Волны должны иметь расчетные параметры (форму, соответствующую закону сопротивления коллектора нагнетанию жидкой фазы, амплитуду, длину, частоту). Волновод – жидкость в скважине, должен обеспечивать передачу волны в коллектор с минимальными потерями. Передача, поворот и излучение волн в другие среды должны обеспечиваться в соответствии с законами механики волн.

В скважину на устье излучают волны с осевым вектором скорости волнового движения, а на уровне коллектора его поворачивают вдоль продуктивного горизонта.

Например, волна с расчетными параметрами передается на забой скважины глубиной до 3 тысяч метров с потерями по амплитуде волны до 25%.

Выводы:

Волновое воздействие на коллектор обеспечивает условия для повышения водопритока к скважине и, в конечном счете, повышает производительность скважин. Опыт показывает, производительность можно повысить в несколько раз до нескольких десятков раз.

Более сложные технологии, включающие специальные волновые воздействия, позволяют повышать извлечение воды из коллектора, а в отработанных коллекторах доизвлекать еще (30-50)% зашлепленной в мелкопористой части коллектора воды.

Инновационные и модернизированные методы извлечения жидких и газообразных полезных ископаемых с применением силовых волн позволяют сократить затраты на добычу последних в 2-3 раза и довести их извлекаемость до соответствия с начальными запасами.

Список использованных источников: 1.Бажал А.И. и др. Новые проблемы и новые технологии добычи углеводородов на больших глубинах. Высокие технологии в машиностроении, Национальный Технический Университет (ХПИ), 2/2006. 2. Бажал А.И. и др. Природные коллекторы и общие закономерности движения нефти и газа в них. Высокие технологии в машиностроении, Национальный Технический Университет (ХПИ), 2/2009. 3. Бажал А.И. и др. Обеспечение жидкостной проницаемости горных пород на месте их залегания с помощью силовых волн. Высокие технологии в машиностроении, Национальный Технический Университет (ХПИ), 2/2007.

Поступила в редколлегию 22.01.2012

27

УДК 621.91

А.И. Бажал, д-р техн. наук, Харьков, Украина,
В.М. Кучеровский, канд.техн. наук, А.М. Барака, Москва, Россия,
А.А. Бажал, Кривой Рог, Украина, Ант.А. Бажал, Харьков, Украина,
С.Г. Серебренникова, Москва, Россия

ВОЛНЫ И ТЕХНОГЕННАЯ ДИЛАТАНТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ТВЕРДЫХ СТРУКТУР

Всі уявлення про зміну фізичного стану - пористості, рідинно-газової проникності масиву монолітних скельних порід та видобутку корисної копалини, пов'язані з подібненням та трициноутворенням гірських порід. Цей процес потребує великих енергетичних та фінансових витрат. Альтернативою цьому процесу є ділатантне розуцільнення масиву. Ділатансія являє собою зсув по кристалічній площині. Це можуть бути площини окремих кристалів або цілих блоків. Зсув по суцільному об'єму, дією суперпозиції імпульсних хвиль при нерівномірному навантаженні забезпечує рівномірну проникність суцільного масиву за рахунок новоствореної тріщинності та пористості масиву. Разова суперпозиція нерівномірного хвильового поля та багатоциклової імпульсно хвильової активації дислокацій приводить до прискорення дифузії і послідовному підвищенню видобутку корисної копалини. Багатоциклової імпульсно хвильової навантаження з заданим вектором швидкості часток в хвилі і наявності рідкої фази приводить до ділатантних ефектів при значно менших значеннях напруженості в масиві.

Все представлення об изменении физического состояния, в том числе пористости, жидкостно-газовой проницаемости массива монолитных скальных пород и извлекаемости полезного ископаемого связываются с дроблением или трещинообразованием горных пород. Процесс этот энергоемкий и затратный. Альтернативой ему является дилатантное разуплотнение массива. Дилатансия представляет собой сдвиг по кристаллическим плоскостям. Это могут быть плоскости отдельных кристаллов или целых блоков. Сдвиг по всему объему, подтвержденному суперпозицией импульсных волн неравномерному нагружению обеспечивает равномерную проницаемость всего массива за счет вновь образованной трещиноватости и пористости массива. Разовая суперпозиция неравномерного волнового поля и многоциклово-импульсно-волновой активации дислокаций приводит к ускорению диффузии и последующему повышению извлекаемости полезного ископаемого. Многоциклово-импульсно-волновое нагружение с заданным вектором скорости частиц в волне и наличии жидкой фазы приводит к дилатантным эффектам при значительно меньших величинах напряжений в массиве.

All current understanding of methods used in order to establish production of deeply deposited mineral resources from non-permeable and crystalline rocks so to achieve or improve extraction of such resources through wells is associated with destruction and fracturing of such rocks. Known methods of such destruction and fracturing are expensive and require lots of energy. De-latent compression of rock masses might be viewed as a more usable and inexpensive alternative to such methods. De-latency may be described as a multiple shift within a rock mass along inter-crystal surfaces. These could be surfaces between micro crystals as long as otherwise surfaces of high stress within the rock mass. Volumetric shifts within the mass instigated with superposition of impulse waves and enhanced with unequal stress within the mass provides for establishing volumetric permeability through newly formed micro fractures connecting natural pores of the rock mass. Mono-impulse wave superposition as well as multi-cyclical wave activation leads to enhancement of diffusion processes and in turn to improvement of extraction of such natural resource. Multi-cyclical and calculated impulse wave enhanced technological and volumetric stress with controlled vector of the load and controlled parameters of the waves

28

До настоящего времени все представления об изменении физического состояния, в том числе пористости, жидкостно - газовой проницаемости массива монолитных скальных пород и извлекаемости полезного ископаемого связывались с дроблением или с трещинообразованием горных пород.

Например, для технологических целей извлечения полезного ископаемого методами геотехнологии непроницаемые скальные породы можно подготовить несколькими путями.

Первый, традиционный путь, который в настоящее время повсеместно применяется в технологической практике – это отбойка и дробление руды на свободную поверхность с последующим орошением отбитой горной массы растворителем и откачкой раствора при выщелачивании полезного ископаемого. Для полного извлечения полезного ископаемого в этом случае кусок должен иметь размер 20-60 мм, (но не более 100 мм).

Второй путь – не дробить массив, а образовать в нем достаточно густую сетку микротрещин, например, при помощи взрыва. При камуфлетном взрыве образуется сетка трещин в ближней от взрыва зоне (в радиусе 1-2м для скважин диаметром 70-100 мм), которая делит массив на отдельные еще более крупные и неравномерные, чем те, которые получаются при дроблении массива.

Трещинообразование происходит только в ближней зоне (1-2м), так как оно возможно только при очень больших напряжениях и в энергетическом отношении по этой причине весьма нецелесообразно (экономнее в энергетическом отношении отбивать и дробить массив на свободную поверхность). Имеются результаты исследований явления *дилатансии** в горных породах под действием одноразового взрывного воздействия, при которых обнаружено увеличение проницаемости массива в ближней от взрыва зоне (на расстоянии 10-15 радиусов заряда), вызванное трещинообразованием [1].

Имеются результаты исследования явления капиллярного эффекта [2], суть которого сводится к увеличению массопереноса через пористые структуры под действием ультразвуковых полей, т.е. знакопеременных волновых полей звуковой амплитуды.

Получены результаты исследований вибрационного воздействия на нефтеносные пласты для повышения их нефтеотдачи, сущность которых состоит в прерывистой подаче с помощью специальных устройств вытесняющей жидкости, т.е. созданию в ней пульсаций давления. Пульсация давления создавалась в пределах от звуковых амплитуд до амплитуд величиной 20-30 МПа, причем колебания носили хаотический характер, т.е. целенаправленно не использовалась скорость волнового движения жидкости. Кроме того, амплитуды давлений имели недостаточную величину для эффективного воздействия на скальные породы. Тем не менее, результаты были получены положи-

29

тельные: эффективность увеличивается на 10-15%, а его продолжительность в 3 раза меньше продолжительности вытеснения нефти без вибрации. Объясняется это тем, что речь во всех случаях шла об уже проницаемых структурах, а вибрации лишь ускорили массоперенос нефти.

Несмотря на перечисленные особенности вибрационного воздействия, на нефтеносные пласты, элементы рассматриваемого эффекта частично могли сказаться на конечных результатах экспериментов. Описанный эффект определяет новый путь управления физико-механическими свойствами горных пород на месте залегания, прежде всего для обеспечения проницаемости массива без его дробления и расчленения трещинами. В его основе лежат явления дилатантного разуплотнения и усталостных эффектов в массиве, происходящих в присутствии жидкой фазы в условиях, как разового высокоамплитудного, так и многоциклового низкоамплитудного неравномерного нагружения массива направленными импульсными волнами, при которых возникают сдвиговые напряжения и давления усталостного характера, сопровождающиеся перемещением и накоплением дефектов кристаллической структуры, порождающими пористость массива.

Дилатансия представляет собой сдвиг массива по кристаллическим плоскостям. Это могут быть плоскости отдельных кристаллов или целых блоков. Сдвиг по всему объему, подтвержденному суперпозицией импульсных волн неравномерному нагружению, а также накопление усталостных явлений при многоциклового низкоамплитудного нагружении, обеспечивают равномерную проницаемость всего массива за счет вновь образованной трещиноватости и

пористости массива. Разовая суперпозиция неравномерного волнового поля и многоциклового импульсно-волнового активация дислокаций приводят к ускорению диффузии и последующему повышению извлекаемости полезного ископаемого. Многоциклового импульсно - волнового нагружение с заданным вектором скорости частиц в волне и при наличии жидкой фазы приводит к дилатантным эффектам при значительно меньших величинах напряжений в массиве. Наиболее эффективное дилатантное разуплотнение происходит при создании в одной из плоскостей нагружения растягивающих напряжений, в то время, как в остальных двух плоскостях нагружения имеют место сжимающие напряжения.

Например, в монолитном граните при такой схеме нагружения дилатантное разуплотнение возможно при величине сжимающих напряжений, равных 5,0 МПа [2], в то время как для трещинообразования в сплошном массиве гранита необходимы напряжения 300-500 МПа вблизи свободной поверхности, а на больших глубинах, где скапливается горное давление, в массиве вообще невозможно создать трещины сжимающими напряжениями, если он со всех сторон сжат высокими давлениями.

При импульсно-волновом циклическом увеличении давления поровой жидкости с направлением вектора скорости частиц в волне внутрь массива вдоль напластования горных пород, прочность горных пород резко уменьшается и явления дилатансии в граните возможны при давлениях порядка 1 МПа за счет появления предельной неравномерности нагружения массива в микрообъемах из-за различных величин давлений поровой жидкости в порах различных размеров, расположенных под разными углами к направлению вектора скорости частиц в волне.

Кроме того, участки массива, охваченные импульсной волной, по мере удаления волны от зоны излучения, приобретают все большее поперечное сечение и, соответственно, все меньшее значение амплитуды напряжений не сохраняют постоянную позиционную картину нагруженности массива, а именно, за участком массива, охваченным волной сжатия вплотную следует участок с растягивающими напряжениями, что обуславливает условия для реализации дилатантного разуплотнения массива.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что дилатантное разуплотнение в условиях эффектов многоциклового нагружения возможно на расстояниях, в 10-20 (до 100) раз превышающих зону трещиноватости от эпицентра взрыва, так, как для его возникновения нужны напряжения, во много раз меньше по величине. Это вносит принципиально новые представления в науку о добыче полезных ископаемых и о глобальных геопроцессах, которые могут происходить в природных условиях.

Например, расширение добычи полезных ископаемых методами геотехнологии на скальные породы, в том числе монолитные скальные породы без их дробления, позволяет пересмотреть сложившиеся требования к кондиции руд и увеличить их промышленные запасы. Как показали исследования, резко увеличивается извлечение металла с применением описываемых эффектов.

Широкое промышленное применение описываемого явления позволяет решить проблему повышения извлекаемости нефти и газа, а также дегазации угольных массивов с целью исключения выбросов газа при добыче угля.

Физическую сущность эффекта объясняют следующие изученные научной явления.

Дилатантные деформации участка массива, охваченного волной, приводят к пористости массива. С дилатантными деформациями связано некоторое увеличение объема массива, что обычно приводит к остаточным деформациям.

Для обеспечения сдвиговых деформаций необходимо обеспечить неравномерность нагружения массива. Наиболее эффективное дилатантное разуплотнение происходит при создании в одной из плоскостей нагружения растягивающих напряжений. В то время, как в остальных двух плоскостях нагружения имеют место напряжения.

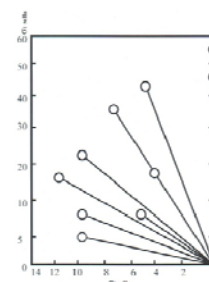


Рисунок 1 – Графические пути нагружения до разрушения (кружки) образцов гранита (начальная пористость 2,64 г/см³)
 Ω_1 - максимальное сжимающее напряжение
 Ω_2 - максимальное растягивающее напряжение

На рис. 1 приведены графические зависимости, иллюстрирующие возможности разрушения гранита в условиях неравномерных деформаций [2].

Из графиков видно, что разрушение, трещино- и поробразование можно осуществить при значениях напряжений сжатия в пределах 1-10 МПа при наличии в одной из плоскостей нагружения растягивающих напряжений.

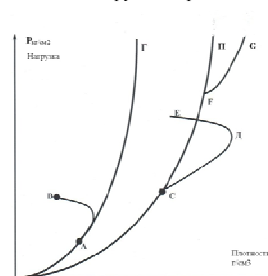


Рисунок 2 – Характерные кривые статического сжатия горных пород:
 ОГ- для монолитной горной породы; ОП- для пористой горной породы;
 Р - давление сжатия, кг/см²; ρ_0 - плотность массива, г/см³.

На рис. 2 приведены характерные кривые сжатия горных пород в условиях неравномерного нагружения [1].

Если сжать образец гранита вдоль ОА, а затем приложить сдвиговое усилие, то вначале сжатие будет происходить и дальше вдоль кривой ОГ, а

затем перейдет в состояние В, несмотря на повышенное давление, т.е. произойдет разуплотнение массива в условиях высоких давлений.

Аналогичное сдвиговое нагружение песчаных пород приводит к его сжатию (от С к Д), а затем происходит дилатантное разуплотнение (от Д к Е).

Однако в пористых породах, в особенности осадочных при больших давлениях дилатантное разуплотнение не только отсутствует, но и происходит уплотнение массива. Это свидетельствует о строго дифференцированном выборе амплитуд давлений (напряжений) воздействия на массив с целью получения его дилатантного разуплотнения. При несоблюдении этого условия можно получить обратный эффект – снижение проницаемости массива. Исходя из этих соображений, трудно управляемые по величине нагружения взрывные воздействия на массив осадочных пород с целью обеспечения его проницаемости менее предпочтительны в сравнении с методом силовых волн от отдельного генератора. Кроме этого, взрывом трудно практически обеспечить многоцикловый характер нагружения массива и направленное излучение волн с необходимым направлением вектора скорости частиц в волне по отношению к поверхности напластования на каждой глубине залегания горных пород.

Если считать, что справедлив критерий критической энергии деформации по Гриффитсу, то отмеченная выше единственность в поведении горных пород предполагает единственность деформаций при заданных среднем давлении и сдвиговом напряжении. Эта гипотеза была проверена на хрупких горных породах. На ее основе построено определяющее соотношение, которое представляет дилатантную деформацию в виде:

$$\varepsilon_d^{\text{деф}} = \left[\frac{dP}{A(t)} - A(t) \right]$$

где: $\varepsilon_d^{\text{деф}} = \frac{\Delta V}{V}$ – относительное изменение деформируемого объема (например, охваченного волной);

ΔV – дилатансионное приращение объема, м³;

V – начальный объем, подвергаемый деформации, м³;

dP – приращение среднего давления, МПа;

$A(t)$ – сдвиговое напряжение МПа;

χ, A – функции, зависящие от деформируемого материала.

Дилатантное увеличение объема описывается экспоненциальным законом.

Такая форма записи проста и описывает поведение горных пород через экспериментально измеримые параметры

Инновационный вектор в технологии добычи полезных ископаемых в этом случае направлен на их скважинную добычу, путем перевода их в раствор на месте залегания, что снижает себестоимость добычи редких, радиоактивных, цветных и драгоценных металлов в 3-5 раз.

Список использованных источников: 1. Михалюк А.В. Горные породы при неравномерных динамических нагрузках. Киев. Наукова думка. 1980, с 154. 2. Ржевский В.В. Бажал А.И. и др. Изменение свойств горных пород в массиве импульсно-волновыми полями при подземном выщелачивании руд. М. Цветметинформация. Выпуск 2, 1985, с.55.

Поступила в редакцию 12.03.2012

СЛОИСТЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ С НАНО-ДИСПЕРСНЫМ ПОКРЫТИЕМ

У цієї статті розглядається розробка шаруватого композиційного матеріалу, що включає твердосплавний субстрат, керамічний шар і нано-дисперсне багатопшарове покриття. Кожен елемент шаруватого інструментального матеріалу виконує індивідуальні функції. Карбідний шар забезпечує підвищену в'язкість і міцність інструментального матеріалу, керамічний шар забезпечує опірність матеріалу окислення, корозії і високотемпературне зменшення при підвищенні температури, нано-дисперсне багатопшарове покриття знижує термо-механічні напруження на передній поверхні інструмента і зменшує поверхневі дефекти кераміки.

В настоящей статье рассматривается разработка слоистого композиционного материала, включающего твердосплавный субстрат, керамический слой и нано-дисперсное многослойное покрытие. Каждый элемент слоистого инструментального материала выполняет индивидуальные функции. Карбидный слой обеспечивает повышенную вязкость и прочность инструментального материала, керамический слой обеспечивает сопротивляемость материала окислению, коррозии и высокотемпературному разупрочнению при повышении температуры, нано-дисперсное многослойное покрытие снижает термо-механические напряжения на передней поверхности инструмента и уменьшает поверхностные дефекты керамики.

In the present paper the development of layered composite material build up on a carbide substrate, a ceramic layer and a nano-scale multilayered coating is reviewed. Each element of a layered tool material fulfills individual functions. The carbide layer provides the raised toughness and strength of tool material, the ceramic layer provides resistance of a tool material to oxidation, corrosion and high-temperature weakening at elevated temperatures, the nano-scale multilayered coating decrease of thermal-mechanical stresses on the rake face of the tool and eliminates superficial defects of the ceramic.

Ключевые слова: слоистая композиционная керамика; многослойно-композиционное нано-дисперсионное покрытие; фильтруемое катодное вакуумно-дуговое осаждение; обработка; стойкость инструмента

1. Введение

Одним из ключевых звеньев технологической системы резания является режущий инструмент. В процессе резания инструмент подвергается воздействию высоких термомеханических напряжений, особенно для таких продвинутых процессов как сухое резание, высокоскоростная обработка, резание с большими сечениями среза, резание труднообрабатываемых материалов. Разработка новых высокотехнологичных процессов обработки требует применения адаптированного режущего инструмента.

Основными инструментальными материалами являются: легированные углеродистые стали, быстрорежущие стали, твердые сплавы, сверхтвердые инструментальные материалы (алмазные и из кубического нитрида бора).

Всем группам инструментальных материалов присуща двойственность основных свойств [1-3]. Более твердые и более износостойкие материалы об-

ладают меньшей вязкостью и стабильностью свойств при циклических нагрузках, также как при нестабильных условиях или при прерывистом резании. Материалы, которые лучше сопротивляются различным механическим и термическим нагрузкам часто хуже сопротивляются изнашиванию. Инструментальный материал с идеальными свойствами должен обладать сбалансированным сочетанием высокой твердости и вязкости, иметь химическую инертность относительно материала заготовки и сохранять свойства при повышении температуры. В частности, твердость и вязкость являются противоположными свойствами и в настоящее время не существует инструментального материала, который бы интегрировал все указанные свойства одновременно [1-3]. Для преодоления двойственности противоречий свойств производят различные инструментальные материалы композиционного типа. В частности, все более широкое применение получают инструменты из быстрорежущей стали и твердого сплава с износостойкими покрытиями, а также инструменты с модифицированными поверхностными свойствами [1,2,4-7]. Разработаны слоистые инструментальные материалы, в которых комбинируются слои из вязких и прочных твердых сплавов и высокотвердой и теплоустойчивой керамики [8].

Применение инструментального материала способного сопротивляться термическому разупрочнению и интенсивному разрушению режущей части инструмента представляется простым решением проблемы [5,8,9]. Таким материалом могла бы стать керамика, комбинирующая при спекании однофазной или многофазной структурами на основе окислов, карбидов или нитридов металла. В отличие от спеченных твердых сплавов, керамика не сдержит металлической связки и сохраняет высокую твердость при нагреве до температур выше 1200 °C [8,10,11]. Кроме того керамика из нитрида кремния (Si₃N₄) обладает такими свойствами как: высокая твердость, сопротивляемость окислению, повышенной теплопроводностью и сопротивляемостью «термошоку» [11]. Керамический инструмент способен вести обработку на скоростях резания обычно превышающих 500 м/мин.

Однако применение керамики чрезвычайно ограничено вследствие ее низкой прочности и вязкости разрушения в сравнении с твердосплавным сплавом. В процессе резания, особенно в условиях колебания механических и термических напряжений, наблюдается формирование микротрещин ведущих к микро скалыванию режущей крошки или полному хрупкому разрушению режущей части керамического инструмента [8-11].

В этой связи разработка материала в виде слоистого композита, интегрирующего свойства твердого сплава, керамики и нано-дисперсного покрытия в едином геометрическом теле режущего инструмента является актуальной научной проблемой, рассматриваемой в настоящей статье.

2. Слоистая композиционная керамика с нанодисперсным многослойным покрытием

2.1. Предварительные условия (постановка научных задач)

С учетом тяжелых условий термомеханического нагружения режущей части инструмента для продвинутых технологий обработки была сформулирована концепция инструментального материала со сбалансированным сочетанием основных свойств (рис.1). Такой материал имеет трехслойную архитектуру, включающую слой из твердого сплава (3), слой из керамики (2) и нано-дисперсное покрытие (1). В подобном материале интегрируются свойства всех трех элементов, входящих в его состав. В частности, твердосплавный субстрат обеспечивает достаточную прочность и вязкость, керамический слой обеспечивает высокую твердость, теплоустойчивость и износостойкость, нано-дисперсное многослойное покрытие (НМП) обеспечивает благоприятную трансформацию термо-механических напряжений и залечивает поверхностные дефекты керамического слоя. Разрабатываемый материал получил наименование «слоисто-композиционная керамика» (СКК).

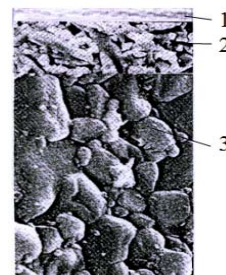


Рисунок 1 – Архитектура слоисто-композиционной керамики (СКК) с нанодисперсным многослойным композиционным покрытием (НМП): 1 – нано-дисперсное многослойно-композиционное покрытие; 2 – керамический слой; 3 – твердосплавный субстрат.

Введение НМП в архитектуру СКК обосновывается следующими.

Свойства керамического слоя СКК чрезвычайно чувствительны к поверхностным дефектам, которые формируются в процессе его обработки. В частности при шлифовании и доводке в поверхность керамического слоя формируются дефекты в виде микротрещин, микропор, механических повреждений, остаточных растягивающих напряжений и так далее [8]. Подобные дефекты оказывают сильное негативное влияние на свойства керамического слоя.