

УДК 669:622.236(002)

Л.Н. Федоров

**О ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
СПЛАВОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ В КОНСТРУКЦИЯХ
КОМБИНИРОВАННОГО ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО
ИНСТРУМЕНТА**

Проведен анализ применения сплавов в породоразрушающих инструментах, обосновано применение сплавов с ЭПФ в качестве силового привода резцов в комбинированных термомеханических инструментах, что позволяет отказаться от гидравлических и пружинных нажимных устройств и расширяет область их применения в сторону бурения геологоразведочных скважин.

Семинар № 21

В конце 70-х и начале 80-х годов прошлого века, как в России, так и за рубежом, широко разрабатывались породоразрушающие инструменты комбинированного действия с применением различных физических полей. Эйфория от первых успехов была так велика, что даже высказывались мнения об исчерпании потенциальных возможностей чисто механических средств разрушения [1]. Однако мало что вышло из лабораторий и применяется сейчас в горном деле. Причем это не только в России, но и в экономически развитых странах. Не говорить ли это о бесперспективности комбинированных способов и средств разрушения? Объяснение сложившейся ситуации и ответ на поставленный вопрос можно найти в [2]. К этому можно добавить, что наши исследования показали, что перспективы развития комбинированного породоразрушающего инструмента можно связать и со сплавами с эффектом памяти формы (ЭПФ), значительно уменьшающих его габариты.

Из множества сплавов с памятью формы только никелид титана обладает самыми высокими прочностными и пла-

стическими свойствами, механотермической и термоциклической долговечностью и сравнительно простотой обработки на получение проволоки, ленты и листа сложных профилей. Эти обстоятельства обуславливают широкое применение никелида титана в качестве функционального конструкционного материала нового поколения [4, 5].

Сплавы с ЭПФ широко применяются в соединении трубопроводов в самолетах, ракетах, подводных лодках, надводных кораблях, газовой и нефтяной промышленности, в химической технике, также известно применение в качестве силового привода в домкратах, скалоломах и в съемниках различного назначения [5]. Крайне редки предложения по применению сплавов с ЭПФ в породоразрушающем инструменте. Для анализа функциональных возможностей сплавов с памятью формы и оценки их применения в качестве привода резцов в рабочее положение в породоразрушающем инструменте ниже в табл. приводятся некоторые результаты патентного исследования применения сплавов с ЭПФ как силового элемента в разрушении горных пород.

№ №	Сущность конструктивного решения	Источник информации
31.	Расширитель скважин содержит породоразрушающие инструменты, которые установлены на полых лапах, изготовленных из сплава с ЭПФ с возможностью при восстановлении заданной формы увеличивать радиус окружности, описываемой инструментами при вращении бурового снаряда.	БИ, 1991, №41. А.с. СССР №1689580. Федоров Л.Н., Мастепако Л.Д., Лотков А.И., Михайлов А.Г.
52.	Устройство для образования направленных трещин в скважинах, включающее полый цилиндр с центральным каналом подвода и радиальными отверстиями отвода рабочей жидкости и камеру эллиптического сечения, на поверхности которой в плоскости большой оси закреплены рабочие клинья, отличающееся тем, что камера выполнена из сплава с памятью формы.	БИ, 1997, №16. А.с. СССР №2081314. Кю Н.Г., Чернов О.И., Шепелев Л.Н.
63.	Устройство для разрушения камня содержит привод механического усилия, клиновой механизм и шток, связанный с приводом. Причем привод выполнен на основе материалов с ЭПФ в виде стержней трапецидального сечения.	БИ, 1996, № 6. А.с. СССР № 2055194 Черноусо В.В, Гольтер А.Э., Волобуев Г.Б.
84.	В буровой коронке основания алмазных элементов выполнены из сплава с памятью формы, благодаря этому при перегреве алмазной матрицы основания последней, нагреваясь и "вспоминая" заданную форму, уменьшают свою высоту, что вызывает подъем алмазов над забоем. При этом осевая нагрузка перераспределяется между недогруженными элементами, а перегретые алмазы интенсивно охлаждаются промывочной жидкостью.	БИ, 1985, №36. А.с. СССР № 1182147. Субботин Е.К., Стихов Л.В., Бабец М.А. и Нечаев Н.Д.
95.	Буровая коронка в корпусе со стороны промывочного паза имеет каналы, в которых установлены вставка, пружина стальная и пружина из сплава с памятью формы, которые периодически вступая в работу, регулируют режим промывки скважины при изменении температуры и сигнализируют об отклонении режима бурения от оптимального.	БИ, 1985, № 39. А.с. СССР № 1186776. Субботин Е.К., Стихов Л.В., Бабец М.А. и Нечаев Н.Д.
16.	Термомеханический породоразрушающий инструмент с фрикционными элементами, в полости цилиндрических каналов корпуса которого подвижно размещены привод в виде цилиндрического столбика и державка резца, причем столбик выполнен из материала с эффектом памяти формы.	БИ, 2005, №6. А.с. СССР № 2247216. Ермаков С.А., Федоров Л.Н.

Из приведенной таблицы видно, что сплавы с ЭПФ применяются в алмазных коронках для управления условиями бурения, в расширителях скважин и как силовые приводы для установки резцов в рабочее положение в комбинированных буровых коронках. Суть применения этого эффекта в буровых коронках (поз. 6, табл.) заключается в следующем. Берется сплав с ЭПФ цилиндрической формы, к примеру, никелид титана, и нагревается в зависимости от содержания никеля до температуры свыше 400-500°С. При этой температуре сплав на-

ходится в аустенитном состоянии и при последующем охлаждении переходит в мартенсит, сохраняя первоначальную высокотемпературную форму, к примеру, высоту 10 мм. В мартенситном состоянии никелид титана сравнительно легко пластически деформируется. И если этот цилиндр сжат до 9 мм, а затем его нагреть выше температуры начала обратного мартенситного превращения, например, выше 40-60 °С, он примет заданную при температуре свыше 400-500 °С форму, т.е., увеличит свою высоту до 9,8-10 мм. При этом в ходе формовос-

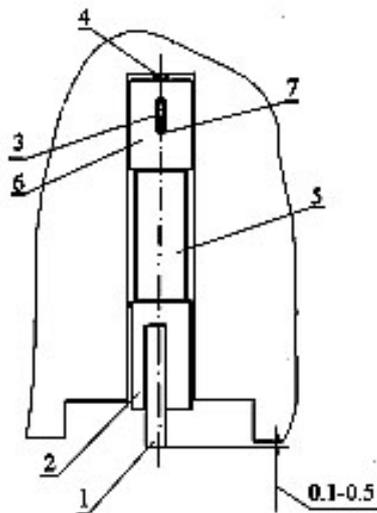


Рис. 1. Резец со штифтовым соединением

становления сплава цилиндр будет развигать каждым квадратным миллиметром своего сечения усилие от 300 до 800 Н. Анализ работы и конструкции термофрикционной коронки и свойств этих сплавов показывает возможность установки цилиндрических вставок диаметром 3-5 мм в качестве привода резцов в корпусе одинарной буровой коронки, не вызывая увеличения ширины ее торца, следовательно, и объема разрушения.

В соответствии с этим выводом в ИГДС разработан резец с державкой из сплава с ЭПФ, адаптированный для установки в корпусах породоразрушающих инструментов, как кольцевого так и сплошного бурения (рис. 1). Особенностью резца является то, что ее державка условно разделена на три части, выполняющие различные функции: крепление режущего элемента, привод резца и крепление державки в корпусе породоразрушающего инструмента. При этом срединная часть державки, служащая

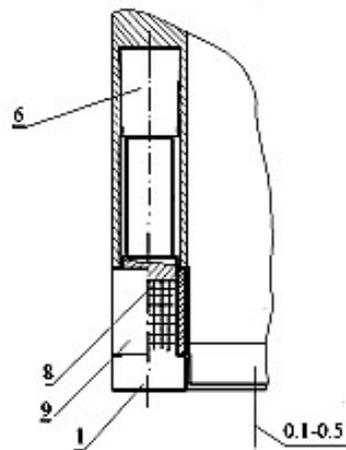


Рис. 2. Резец с термомеханическим закреплением режущей пластины и хвостовика в корпусе инструмента

приводом, выполнена с проточкой, т.е. ее сечение значительно меньше, чем сечение передней и хвостовой частей. Благодаря этому, при деформировании резцедержателя с целью задания формы на "память" напряжение в креплениях будет минимальным. Хвостовик державки крепится штифтовым соединением. Режущая пластина из твердого сплава припаивается к державке серебряным припоем [4] или диффузионной сваркой с применением промежуточной прокладки в виде биметаллической ленты [6].

Резец состоит из пластины 1, державки 2 из сплава с ЭПФ, штифта 3 и компенсационных подкладок 4. Державка имеет проточку 5 для облегчения ее пластической деформации при сжатии для задания положения резцов ниже уровня фрикционных элементов коронки. Хвостовик 6 имеет сквозное отверстие 7 и штифт 3, удерживающий резец от выпадения при спуске и подъеме коронки из скважины. Подкладка 4 устанавливается под торец хвостовика при

износе резца и имеет толщину равную величине износа режущей пластины.

На рис. 2 изображен другой вариант крепления твердосплавной пластины в державке и державки в корпусе инструмента.

Здесь режущая пластина выполнена в виде лопаточки, ручка которой устанавливается в пазе державки резца, причем она имеет с двух сторон более грубую шероховатость или сетчатую насечку 8, глубина которой увеличивается к нерабочему торцу до 0,1 мм. Муфта 9 из никелида титана с температурой обратного мартенситного превращения ниже 0 °С, восстанавливая заданный диаметр, обжимает державку с твердосплавной пластиной. Так как напряжение обжатия доходит до 600-800 МПа и действует в течение всей "жизни" резца, то материал державки, находясь при этой температуре в мартенситном состоянии, течет и заполняет канавки между гребешками шероховатой поверхности твердого сплава, а также бороздки сетчатой насечки. Хвостовик 6 выполнен в аустените с обратным конусом, причем его малый диаметр с минимальным зазором устанавливается в отверстие корпуса коронки. Большой диаметр конуса превышает малый на 10 %, т.е. на величину коэффициента возврата формы сплава. Хвостовик при комнатной температуре деформируется в мартенсите до размера цилиндрического канала в корпусе коронки. Для облегчения деформирования в торце конуса выполнено сверление на длину хвостовика. Гнездо под хвостовик выполняется цилиндрическим, однако становится конусным за счет пластического течения материала корпуса коронки под действием усилия восстановления конусообразного хвостовика.

Конструктивно резец легко устанавливается в корпусе коронки и в лопасти

термофрикционного долота. Во всех этих случаях резец работает следующим образом. После посадки инструмента на забой начинается на пониженном режиме взаимоприработка пород забоя и фрикционных элементов. Затем параметры режима приработки плавно доводят до рабочих, что приводит к интенсивному нагреванию и разупрочнению поверхностного слоя пород забоя. Одновременно с этим нагревается корпус коронки и сплав с ЭПФ. При этом необходимая рабочая температура сплава для проявления эффекта формы регулируется потоком промывочной жидкости. Когда температура державки резца достигнет температуры обратного мартенситного превращения, т.е. 40-100 °С, резцы начнут выступать, внедряясь в разупрочненный слой породы, и при дальнейшем вращении отделять от забоя этот слой, обнажая при этом новый малопрогретый. Следующий за резцом фрикционный элемент снова трением прогреет и разупрочнит поверхностный слой, которого срежет следующий за ним резец, и т.д. При этом возврат деформации сплава, следовательно, углубление лезвия резца в породу, составит порядка от 0,1 до 0,5 мм в зависимости от степени разупрочнения породы. Если в процессе бурения порода разупрочнится глубже или в разрезе встретятся более слабые породы, то резец внедрится до 0,5-0,7 мм, при этом увеличится скорость бурения. А если толщина разупрочненного слоя будет малой, то увеличится сила сопротивления пород внедрению, и резец будет снимать более тонкий слой порядка 0,1 мм и менее. Скорость бурения при этом уменьшится. Режим разупрочнения и резания породы, а также материалы режущих элементов подбираются из условия наибольшей стойкости резцов и оптимальной механической скорости бурения.

Рассмотрим конкретный пример выполнения резца из никелида титана марки ТН-1 с содержанием никеля 49 – 51 ат. %, установленного в корпусе одинарной коронки. Эти сплавы характеризуются достаточно высоким пределом пластического течения (750 – 850) МПа и значительной величиной (8-10) % накапливаемой и возвращаемой деформации в процессе реализации эффекта памяти формы при повышенных температурах. К примеру, сплав марки ТН1 с содержанием никеля 50,5 % состава имеет следующие характеристики: температура начала прямого мартенситного превращения 35 °С; температура конца прямого мартенситного превращения 20 °С; температура начала обратного мартенситного превращения 45 °С; температура конца обратного мартенситного превращения 70 °С; коэффициент формовосстановления 10 %; коэффициент упругости 2 %. После крепления режущей пластины все резцы должны иметь одинаковый размер по длине и подвержены гомогенизирующему отжигу при температуре 800-850 °С в течение 40-60 мин. с последующим охлаждением вместе с печью. При установке на коронку резцы должны выступать над уровнем фрикционных элементов на величину эффекта памяти формы. При длине проточенной части державки 10 мм и эффекте памяти формы 10 % общая деформация составит порядка 1.0 мм. После этого при температуре ниже температуры конца прямого мартенситного превращения, т.е. при комнатной температуре, резцы утапливают ниже уровня фрикционных элементов на величину упругой деформации державки. Таким

образом, после спуска снаряда в скважину коронка садится на забой фрикционными элементами. При обычном твердосплавном бурении нагрузка на резец колеблется в пределах 600-1000 Н, а действующее усилие привода превышает в 5-9 раз. Поэтому, чтобы обеспечить заглубливание резца только на глубину слоя предразрушения, лезвие резца должно иметь предварительную площадку затупления шириной порядка 0,7-1,5 мм. Это позволяет в качестве резца применять тонкие пластины твердого сплава как в самозатачивающихся коронках типа СА.

Выводы

1. Краткий анализ применения сплавов в породоразрушающих инструментах показывает, что сплавы с ЭПФ наибольшее применение смогут найти в комбинированных породоразрушающих инструментах как малогабаритные силовые приводы для приведения резцов в рабочее положение.

2. Применение сплавов с ЭПФ в качестве силового привода резцов в комбинированных термомеханических инструментах позволяет отказаться от гидравлических и пружинных нажимных устройств и расширяет область их применения в сторону бурения геологоразведочных скважин.

3. Использование новых функциональных материалов - сплавов с ЭПФ в конструкциях управляющих устройств и силовых приводов породоразрушающих элементов, можно положить в основу нового направления в разработке породоразрушающего инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барон Л.И. Основные научно-методические вопросы разрушения горных пород механическими способами [Текст] / Л. И.

Барон. Разрушение горных пород механическими способами. - М.: Наука, 1966. – С. 3-13.

2. Федоров Л.Н. Методологические аспекты создания и совершенствования способов раз-

рушения горных пород [Текст] / Л. Н. Федоров // Физические проблемы разрушения горных пород (20-25 октября. 2004 г.) Институт комплексного освоения недр РАН. - М.: ИПКОН, 2004. - С. 110-115.

3. Хачин В.Н., Гюнтер В.Э. Сплавы с памятью в медицине [Текст] / В. Н Хачин, В. Э Гюнтер. - Новосибирск: Изд-во Томского университета, 1985. - 246 с.

4. Осцека К., Симидзу К., Зудзуки Ю. и др. Сплавы с памятью формы [Текст]: [пер. с японского] / К. Осцека, К. Симидзу, Ю Зудзуки и др. - М.: Металлургия, 1990. - 224 с.

5. Махутов Н.А., Шишкин С.В. Безопасные соединения трубопроводов с эффектом памяти

формы [Текст] / Н.А. Махутов, С.В. Шишкин. - М.: Металлургия, 1999. - 504 с.

6. Пушин В.Г., Валиев Р.З. Наноструктурные материалы с эффектом памяти формы на основе никелида титана и их применение в медицине и технике [Текст] / В.Г. Пушин, Р.З. Валиев //Сб. трудов IV Российской выставки "Изделия и технологии двойного назначения". 21-24 октября 2003 г., г. Москва. - М.: ИМАШ, 2003. - С. 172-176.

7. Бродов Г.С. Основы термомеханического колонкового бурения [Текст] / Г. С. Бродов. - С.-Петербург: Изд-во ВИТР, 2001. - 56 с. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Федоров Л.Н. – Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 21 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф.

