

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

С. В. Монтик

Основным породоразрушающим инструментом при бурении нефтяных и газовых скважин являются шарошечные долота. Оснащение их твердосплавным вооружением, состоящим из зубков из твердого сплава ВК (сплав карбида вольфрама с кобальтом), повысило проходку и другие эксплуатационные характеристики долот. Однако твердый сплав используется нерационально, т. к. большая часть твердосплавного зубка находится в корпусе долота и выполняет роль державки. Разработанный в Государственной академии нефти и газа имени И. М. Губкина (г. Москва) метод электроконтактного механотермического формирования (МТФ) биметаллических изделий позволяет изготавливать биметаллические зубки, состоящие из твердосплавной рабочей головки и стального основания, что дает возможность снизить расход твердого сплава. Процесс механотермического формирования применительно к биметаллическим зубкам для шарошек буровых долот изучался Н. А. Жидовцевым, В. Я. Кершенбаумом, Э. С. Гинзбургом, А. И. Мизиним, И. Г. Барило и Л. А. Резником [5].

Твердосплавное вооружение долот подвергается действию абразивного, ударно-абразивного и ударно-усталостного изнашивания. В зависимости от типа долота и вида вооружения (основное или калибрующее) преобладает один из видов изнашивания.

В зависимости от назначения для изготовления биметаллических (твердый сплав — сталь) изделий используют двухстадийную или одностадийную технологию механотермического формирования. Используя различные варианты технологии механотермического формирования и изменяя параметры процесса, можно изменять физико-механические свойства и структуру твердого сплава, а значит, и его износостойкость.

Важной задачей является исследование влияния технологии механотермического формирования на износостойкость твердого сплава, что позволит осуществлять правильный выбор параметров механотермического формирования и марки твердого сплава в зависимости от конкретных условий работы биметаллических зубков.

Для исследования износостойкости твердого сплава при ударно-усталостном изнашивании были изготовлены биметаллические зубки формы Г26 по ГОСТ 880-75 (см. рис.1, а) диаметром 12 мм и высотой 14 мм для шарошек буровых долот. Использовались твердые сплавы ВК8-В, ВК10-КС, ВК11-ВК, ВК15 по ГОСТ 3882-74. Основание биметаллического зубка изготавливалось из стали 45 по ГОСТ 1050-88. Для изготовления биметаллических изделий применялась одно- и двухстадийная технология механотермического формирования.

Двухстадийная технология механотермического формирования заключается в спекании под давлением в керамической пресс-форме порошка твердого сплава при одновременном его соединении со стальным основанием за счет теплоты, выделяемой при пропускании электрического тока, с использованием медного, а затем графитового электрода-пуансона (см. рис. 1, б). Параметры процесса: давление прессования 25—50 МПа,

плотность тока 8—20 А/мм², время процесса 5—7 с для каждой стадии. Для обеспечения прочности керамической пресс-формы использовалась стальная оправка.

При одностадийной технологии механотермического формирования спекание осуществляется под давлением в графитовой пресс-форме за счет прохождения электрического тока через порошок твердого сплава, стальное основание и пресс-форму (см. рис. 1, в). Давление прессования составляет 9 МПа, плотность тока 4—5 А/мм², длительность процесса от 10 до 200 с. Для обеспечения прочности графитовой пресс-формы использовалась стальная оправка.

Биметаллические зубки изготавливались на экспериментальной установке, изготовленной в Государственной академии нефти и газа (ГАНГ) имени И. М. Губкина (г. Москва).

Исследование износостойкости твердого сплава биметаллических зубков проводилось при прямом ударе на установке, разработанной в ГАНГ им. И. М. Губкина (г. Москва), и на стенде 7810-1002, созданном в НИЛ СКБ АО «Волгабурмаш» (г. Самара). Крепление зубков осуществлялось кернением.

Исследования на установке проводились при энергии удара 10 Дж, что позволяло изучать последовательность изнашивания и разрушения зубков. Исходя из нагрузок, действующих на зубки при работе долота, и для сокращения времени испытаний большая часть исследований проводилась при энергии удара 60 Дж с частотой ударов 4 Гц на стенде 7810-1002. Данный режим нагружения соответствует режиму испытаний твердосплавных зубков того же типоразмера, проводимых в НИЛ СКБ.

Износостойкость твердого сплава при ударно-усталостном изнашивании оценивалась количеством циклов ударного нагружения до состояния, при котором вылет твердосплавной части биметаллического зубка в результате его разрушения уменьшился на 3 мм. Первоначально вылет зубка составлял 4 мм и соответствовал вылету на шарошках долот.

Исследование микроструктуры твердых сплавов проводилось по ГОСТ 9391-80 [4] на оптическом микроскопе НЕОРНОТ 30.

Определение стереологических параметров твердых сплавов - среднего размера карбидных зерен, среднего размера участка *Co*-фазы, смежности C_{WC-WC} — проводилось методом случайных секущих [6, 7] на фотографиях травления шлифов при увеличении в 1250 и 2000 раз. Средний размер карбидных зерен определялся как отношение суммарной длины секущей, приходящейся на зерна *WC*, к числу зерен, через которые проходит секущая. Аналогично определялся и средний размер участка кобальтовой фазы. Смежность C_{WC-WC} (относительная доля контактной поверхности) вычислялась по формуле [7]:

$$C_{WC-WC} = \frac{2N_{LWC-WC}}{N_{LWC-Co} + 2N_{LWC-WC}},$$

где N_{LWC-WC} — число сечений контактов зерен *WC-WC* на единицу случайной секущей,

N_{LWC-Co} — число сечений контактов *WC-Co* на единицу длины случайной секущей.

Определялись объемные доли кобальтовой и карбидной фаз твердых сплавов. При этом также использовался метод случайных секущих [6].

Для твердого сплава биметаллических зубков определялись твердость по Роквеллу, плотность, коэрцитивная сила. Данные физико-механические свойства определялись в соответствии со стандартной методикой [1, 2, 3]. При определении плотности и коэрцитивной силы твердосплавная часть зубка отделялась от стального основания. Вследствие технологических особенностей механотермического формирования изготовление образцов для определения предела прочности при изгибе было затруднено.

В результате проведенных исследований физико-механических характеристик и микроструктуры твердого сплава было установлено, что твердый сплав, полученный двухстадийным механотермическим формированием, имеет более высокую твердость (на 2—2,5 единицы HRA), плотность и коэрцитивную силу по сравнению со сплавом, полученным свободным спеканием. В сплаве увеличивается количество мелких зерен карбида вольфрама. Средний размер зерен и величина кобальтовой прослойки снижается, а их смежность (относительная доля контактной поверхности зерен) возрастает (см. табл. 1, 2). Включения графита отсутствуют, а пористость уменьшается.

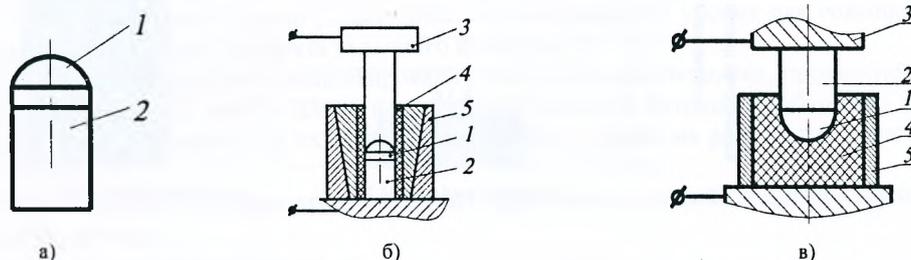


Рисунок 1 — Биметаллический зубок (а) формы Г26 по ГОСТ 880-75 и технология его изготовления МТФ с использованием медного электрода-пуансона (б) и с использованием графитовой пресс-формы (в) (1 — твердый сплав, 2 — стальное основание зубка, 3 — медный электрод-пуансон, 4 — керамическая или графитовая пресс-форма, 5 — стальная оправка).

Таблица 1 — Физико-механические свойства твердых сплавов

Марка сплава	Технология изготовления	Твердость по Роквеллу, HRA	Плотность, г/см ³	Козрцитивная сила, кА/м
ВК8-В	Свободное спекание	87	14,69	6,1
	Двухстадийное МТФ	89,0	14,75	7,5
	Одностайдийное МТФ	88,0	14,70	6,3
ВК10-КС	Свободное спекание	86,5	14,55	5,6
	Двухстадийное МТФ	88,5	14,69	6,8
	Одностайдийное МТФ	87,0	14,56	5,7

Таблица 2 — Микроструктура твердых сплавов

Марка сплава	Технология изготовления	Средний размер зерен WC, мкм	Средний размер участка Со-фазы, мкм	Относительная доля контактной поверхности зерен WC
ВК8-В	Свободное спекание	4,2	1,6	0,54
	Двухстадийное МТФ	2,7	0,9	0,61
	Одностайдийное МТФ	4,2	1,5	0,55
ВК10-КС	Свободное спекание	4,3	1,9	0,40
	Двухстадийное МТФ	1,7	0,7	0,60
	Одностайдийное МТФ	4,2	1,9	0,41

Износостойкость при абразивном изнашивании твердого сплава, полученного двухстадийным механотермическим формированием, в 2—3 раза превышает износостойкость такого же сплава, полученного свободным спеканием. Это объясняется более высокой твердостью сплава, меньшим размером карбидных зерен и кобальтовой прослойки между зернами. Вследствие диффузии кобальта в графитовый электрод-пуансон на второй стадии МТФ износостойкость поверхностного слоя сплава глубиной до 0,3 мм выше в 5—6 раз, чем в остальном объеме [5].

Физико-механические свойства и структура твердого сплава, изготовленного одностайдийным механотермическим формированием, практически не отличается от параметров сплава, полученного свободным спеканием (см. табл. 1, 2). Можно отметить существенное понижение пористости вследствие спекания под давлением. Рост длительности процесса ведет к росту зерен карбида вольфрама, их средний размер линейно увеличивается, а смежность падает, что повышает пластичность сплава.

Износостойкость твердого сплава, изготовленного одностайдийным механотермическим формированием, при ударно-усталостном изнашивании в 4,5 раза выше, чем после двухстадийного механотермического формирования (см. рис. 2).

Установлено влияние структуры и состава твердого сплава, изготовленного одностайдийным механотермическим формированием, на его износостойкость при ударно-усталостном изнашивании, которая линейно возрастает в логарифмических координатах с увеличением среднего размера карбидных зерен в сплаве. Можно выделить две группы сплавов, внутри которых рост содержания кобальта в сплаве ведет к линейному повышению его износостойкости (см. рис. 3). Это крупнозернистые сплавы (ВК8-В, ВК10-КС, ВК12-КС) со средним размером зерен 4—5 мкм и мелко- и среднезернистые сплавы (ВК15, ВК20 и ВК8-ВК, ВК11-ВК) со средним размером зерен 2 и 3 мкм.

Анализ фрактограмм поверхности разрушения твердых сплавов при ударно-усталостном изнашивании показывает, что усталостная трещина проходит по межзеренной границе в мелкозернистых сплавах (средний размер зерен карбида вольфрама 2 мкм) и по зернам карбида вольфрама, которые разрушаются сколом после пластического деформирования и нарушения связи, в крупнозернистых сплавах (средний размер карбидных зерен 3—5 мкм).

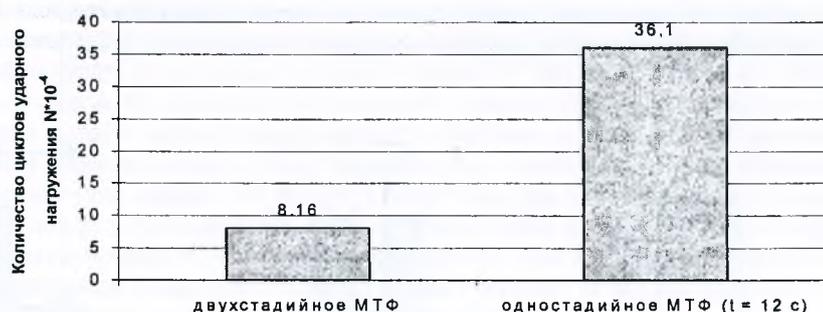


Рисунок 2 — Зависимость износостойкости при ударно-усталостном изнашивании от технологии МТФ твердого сплава (твердый сплав ВК10-КС, энергия прямого удара 10 Дж, биметаллические зубки формы Г26 по ГОСТ 880-75)

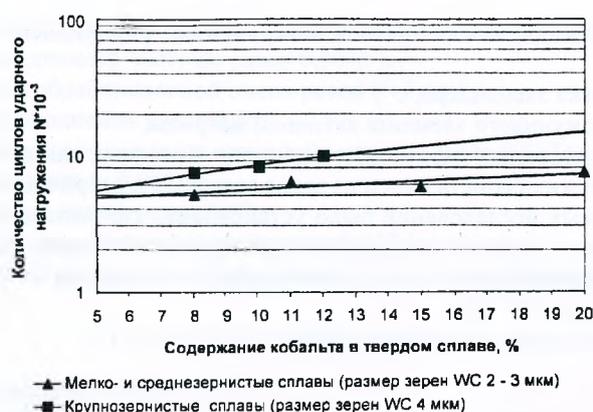


Рисунок 3 — Зависимость износостойкости твердого сплава при ударно-усталостном изнашивании от содержания кобальта (прямой удар, энергия удара 60 Дж, биметаллические зубки формы Г26 по ГОСТ 880-75)

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что для изготовления биметаллических зубков, используемых для основного вооружения долот и работающих при высоких ударных нагрузках, необходимо применять одностадийную технологию механотермического формирования, а для биметаллических зубков, используемых в калибрующем вооружении долот и работающих в условиях абразивного изнашивания, двухстадийную технологию механотермического формирования.

Список источников

1. ГОСТ 20017-74. Сплавы твердые спеченные. Метод определения твердости по Роквеллу. — М.: Стандарты, 1986. — С.4.
2. ГОСТ 20018-74. Сплавы твердые спеченные. Метод определения плотности. — М.: Стандарты, 1986. — С.5.
3. ГОСТ 24916-81. Сплавы твердые спеченные. Метод определения коэрзивной силы. — М.: Стандарты, 1981. — С.4.
4. ГОСТ 9391-80. Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры. — М.: Стандарты, 1985. — С.11.
5. Жидовцев, Н. А. Долговечность шарошечных долот / Н. А. Жидовцев, В. Я. Кершенбаум, Э. С. Гинзбург и др. — М.: Недра, 1992. — С. 271.
6. Салтыков, С. А. Стереометрическая металлография. / С. А. Салтыков — М.: Металлургия, 1970. — С. 376.
7. Чернявский, К. С. Стереология в металловедении. / К. С. Чернявский. — М.: Металлургия, 1977. — С. 280.