

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

**С.В. Монтик**

*Брестский государственный технический университет*

**Введение.** Оснащение шарошечных долот, которые используются при бурении нефтяных и газовых скважин, твердосплавным вооружением повысило проходку и другие эксплуатационные характеристики долот. Разработанный в Государственной академии нефти и газа (ГАНГ) им. 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 [1].

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.

Биметаллические (твердый сплав – сталь) зубки, изготовленные МТФ, могут эксплуатироваться в различных условиях, поэтому возникает задача исследовать влияние технологии МТФ на микроструктуру и физико-механические свойства твердого сплава с целью определения параметров технологии МТФ для конкретных условий работы.

**Методы исследований.** Для исследования влияния технологии МТФ на микроструктуру твердого сплава были изготовлены биметаллические изделия в виде зубков формы Г26 по ГОСТ 880-75 для шарошек буровых долот. Использовались твердые сплавы ВК8-В, ВК10-КС 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. Параметры процесса: давление прессования 25 – 50 МПа, плотность тока 8 – 20 А/мм<sup>2</sup>, время процесса 5 – 7 с для каждой стадии.

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. Давление прессования составляет 9 МПа, плотность тока  $4 - 5 \text{ А/мм}^2$ , длительность процесса от 10 до 600 с.

Комбинированные зубки изготавливались на экспериментальной установке, изготовленной в ГАНГ им. И. М. Губкина (г. Москва).

Исследование микроструктуры твердых сплавов проводилось по ГОСТ 9391-80. Определение стереологических параметров твердых сплавов (среднего размера карбидных зерен, среднего размера участка Со-фазы, смежности карбидных зерен), а также объемных долей кобальтовой и карбидной фаз проводилось по методике, изложенной в [3].

Для твердого сплава определялись твердость по Роквеллу, плотность, коэрцитивная сила в соответствии со стандартной методикой по ГОСТ 20017-74, ГОСТ 20018-74, ГОСТ 24916-81. При определении плотности и коэрцитивной силы твердосплавная часть зубка отделялась от стального основания.

**Результаты и обсуждение.** Технология МТФ оказывает существенное влияние на микроструктуру твердого сплава. В твердом сплаве после двухстадийного МТФ отсутствуют включения графита, однако в некоторых случаях обнаруживаются включения  $\eta$ -фазы (двойной карбид вольфрама и кобальта) у границы со сталью. Их наличие вызвано обезуглероживанием сплава вследствие диффузии углерода в сталь и высокой скоростью охлаждения после МТФ. Анализ стереологических параметров твердого сплава, изготовленного двухстадийным МТФ, показывает, что средний размер карбидных зерен, средняя величина кобальтовой прослойки меньше, а смежность карбидных зерен больше, чем у сплава той же марки, изготовленного одностадийным МТФ или свободным спеканием (таблица).

Таблица

Микроструктура твердых сплавов

Марка сплава	Технология изготовления	Средний размер зерен WC $d_{WC}$ , мкм	Средний размер участка Со-фазы $l_{Co}$ , мкм	Смежность зерен WC $C_{WC-WC}$
BK8-B	Свободное спекание	4,2	1,6	0,54
	Двухстадийное МТФ	2,7	0,9	0,61
	Одностадийное МТФ	4,2	1,5	0,55
BK10-KC	Свободное спекание	4,3	1,9	0,40
	Двухстадийное МТФ	1,7	0,7	0,60
	Одностадийное МТФ	4,2	1,9	0,41

Одностадийное МТФ позволяет изменять структуру получаемого твердого сплава. Проведение процесса при высокой плотности тока и малой длительности позволяет получать сплавы с мелким зерном WC. Структура такого сплава близка структуре сплава после двухстадийного МТФ. Данные сплавы будут обладать высокой износостойкостью при абразивном изнашивании [1]. Увеличение длительности процесса при меньшей плотности тока ведет к росту зерен WC. При этом средний размер карбидных зерен линейно возрастает, а относительная доля контактной поверхности линейно уменьшается. Получаемая структура твердого сплава (крупнозернистый сплав с низкой смежностью карбидных зерен) обеспечивает высокую пластичность сплава, что должно повысить его долговечность при ударном нагружении [2]. При этом средний размер карбидных зерен линейно возрастает, а их смежность линейно снижается. Однако при длительности процесса более 600 секунд содержание графита в сплаве превышает допустимые пределы.

В результате исследования физико-механических характеристик 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, чем сплав, изготовленный одностадийным МТФ. Повышение твердости можно объяснить меньшим размером карбидных зерен и кобальтовой прослойки между зернами, а также уменьшением массовой доли кобальта в поверхностном слое вследствие его диффузии в графитовый электрод-пуансон на второй стадии МТФ. Физико-механические свойства твердого сплава, изготовленного одностадийным механотермическим формированием, практически не отличаются от параметров сплава, полученного свободным спеканием.

**Выводы.** Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что для обеспечения требуемых в соответствии со стандартами микроструктуры и физико-механических свойств твердого сплава необходимо использовать одностадийную технологию МТФ в графитовой пресс-форме с длительностью процесса от 50 до 200 секунд. Изготовленные по данной технологии твердые сплавы обладают способностью воспринимать большие ударные нагрузки не разрушаясь, а также имеют необходимую твердость. Для обеспечения высокой износостойкости при абразивном изнашивании необходимо использовать твердые сплавы, изготовленные двухстадийным МТФ, который обеспечивает мелкозернистую структуру сплава, малую величину среднего размера кобальтовой фазы и более высокую твердость поверхностного слоя.

### Литература

1. Долговечность шарошечных долот / Н. А. Жидовцев [и др.]. – М.: Недра, 1992. – 271 с.
2. Лошак, М. Г. Прочность и долговечность твердых сплавов / М.Г. Лошак. – Киев: Наук. думка, 1984. – 328 с.
3. Чернявский, К. С. Стереология в металловедении / К.С. Чернявский. – М.: Металлургия, 1977. – 280 с.