

Монтик С.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ ТВЕРДОГО СПЛАВА СО СТАЛЬЮ, ПОЛУЧЕННОГО МЕХАНОТЕРМИЧЕСКИМ ФОРМИРОВАНИЕМ

Применение биметаллических изделий, состоящих из твердосплавной рабочей части и стального основания, выполняющего роль державки, обеспечивает снижение расхода дорогостоящего твердого сплава. Биметаллические изделия возможно изготавливать методом электроконтактного механотермического формирования (МТФ), разработанного в Государственной академии нефти и газа имени И. М. Губкина (г. Москва). МТФ характеризуется спеканием порошка твердого сплава и получением монолитного соединения его со сталью за счет выделения теплоты при пропускании электрического тока и формирующего давления.

Необходимым условием применения биметаллических изделий является высокая прочность соединения твердого сплава со сталью, т.к. зачастую их разрушение при воздействии внешних нагрузок происходит по границе раздела твердый сплав-сталь [1].

Для исследования прочности соединения твердого сплава со сталью были изготовлены биметаллические изделия в виде зубков формы Г26 по ГОСТ 880-75 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, состоящие из карбида вольфрама и кобальта. Для изготовления биметаллических изделий применялась одно- и двухстадийная технология МТФ.

Двухстадийная технология МТФ 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. При одностадийной технологии МТФ спекание осуществляется под давлением в графитовой пресс-форме за счет нагрева при прохождении электрического тока через порошок твердого сплава, стальное основание и пресс-форму.

Для исследования прочности соединения при срезе было сконструировано и изготовлено специальное приспособление (см. рисунок 1). Испытания проводились на разрывной машине FP 101/1. Скорость перемещения при нагружении составляла 2,5 мм/мин.

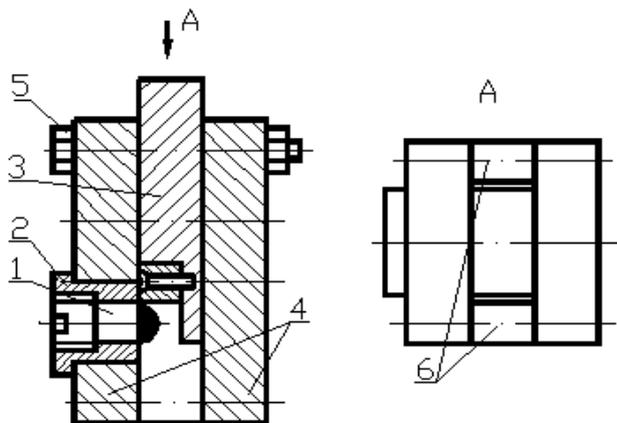


Рисунок 1 – Приспособление для определения прочности соединения твердого сплава со сталью при срезе:

1 – образец (биметаллический зубок), 2 – втулка с регулировочным винтом, 3 – плунжер со сменным ножом, 4 – стенки, 5 – крепежные болты и гайки, 6 – боковины.

Прочность соединения твердого сплава со сталью при срезе τ_{cp} , МПа, определялась из выражения:

$$\tau_{cp} = P/A,$$

где P - нагрузка, при которой произошло разрушение образца, A - площадь поперечного сечения образца.

Для исследования зависимости прочности соединения от содержания углерода в стали и термообработки основания биметаллических зубков изготавливались из сталей 45, 65Г и 20Х, которая предварительно подвергалась цементации.

Сталь 45 обеспечила максимальную прочность соединения биметаллического зубков формы Г54 по ГОСТ 880-75 [1]. Сталь 65Г является рессорно-пружинной и обладает высоким сопротивлением малым пластическим деформациям и высоким пределом выносливости при достаточной пластичности и сопротивлении хрупкому разрушению, что необходимо для основания биметаллического зубков при ударных нагрузках. Сталь 20Х является одним из представителей цементируемых сталей и после цементации обладает высокой твердостью поверхности и вязкой сердцевиной, что тормозит развитие трещин при разрушении.

Диффузионные процессы на границе твердый сплав - сталь и характер разрушения соединения изучались с помощью металлографии и электронной фрактографии на микроскопе NEOPHOT 30 и растровом электронном микроскопе TESLA BS 300.

Рассмотрим основные факторы, влияющие на прочность соединения твердый сплав - сталь.

Использование для изготовления биметаллических зубков сталей с разным содержанием углерода показало, что максимальная прочность соединения достигается в случае применения сталей с 0,6-0,8 % углерода после одностадийного МТФ в графитовой пресс-форме (см. таблицу 1).

Это объясняется зависимостью направления и скоростью диффузии углерода, а также количества диффундируемого железа и кобальта от содержания углерода в стали, что в свою очередь определяет свойства переходной зоны твердый сплав-сталь. При содержании углерода в стали меньше 0,6% в твердом сплаве на границе со сталью возможно образование η_1 -фазы (двойной карбид вольфрама и кобальта W_3Co_3C) вследствие обезуглероживания сплава, что понижает его прочность. Количество диффундируемого железа из стали также существенно влияет на свойства приграничных слоев твердого сплава. Например, в биметаллическом зубке, изготовленном из сплава ВК10-КС и стали 45 одностадийным МТФ, в слое твердого сплава высотой 20 мкм у границы со сталью объемное содержание связующей кобальтовой фазы составило 31% против 17% в остальном объеме. Увеличение количества связующей фазы повышает пластичность и прочность сплава, однако наличие связующей железа может привести к образованию хрупких карбидов типа Fe_xW_xC , которые являются источниками микротрещин.

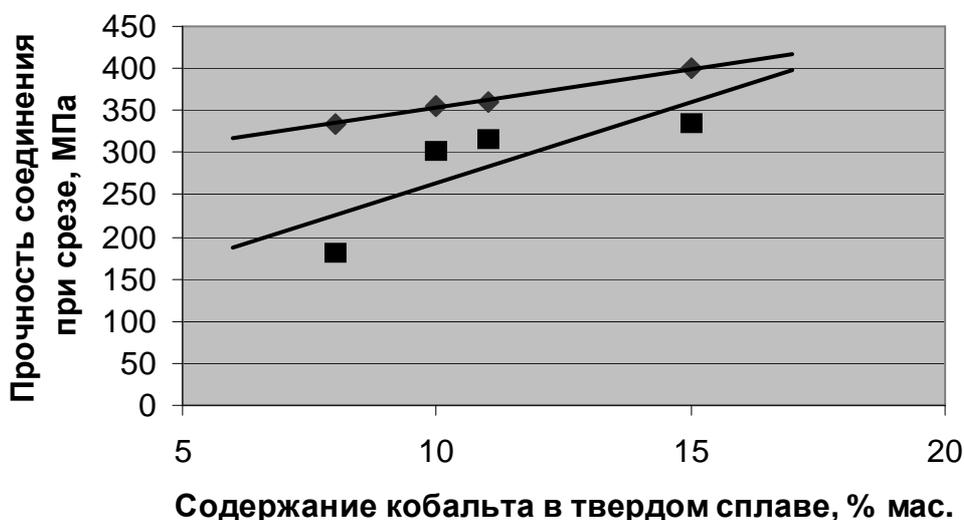
Стальное основание биметаллического зубка вследствие диффузии углерода из твердого сплава и неравномерного нагрева имеет разную структуру по высоте. Так стальное основание биметаллического зубка из стали 45 после двухстадийного МТФ имело следующую структуру: на расстоянии до 1,5 мм от твердого сплава - перлит (твердость HRC 36-40), остальная часть - перлит + феррит (твердость HRC 32-36).

Таблица 1 – Прочность соединения твердый сплав – сталь при срезе.

Марка стали	Количество стадий МТФ	Термообработка	Прочность соединения твердый сплав – сталь при срезе $\tau_{ср}$, МПа
65Г	2	Закалка в масле сразу после МТФ	433
20Х			344
45			205
65Г	2	Охлаждение на воздухе	200
20Х			195
45			203
65Г	1	Охлаждение в графитовой пресс-форме на воздухе	376
20Х			371
45			335

Примечания:

1. Сталь 20Х после предварительной цементации. Содержание углерода в поверхностном слое 0,8%
2. Твердый сплав ВК8-ВК



◆ Одностадийное МТФ ■ Двухстадийное МТФ

Рисунок 2 – Зависимость прочности соединения твердого сплава со сталью при срезе от содержания кобальта в твердом сплаве.

Рост содержания кобальта в твердом сплаве приводит к линейному увеличению прочности соединения (рис.2), причем высота диффузионной зоны также линейно возрастает (рис.3). Коэффициенты корреляции между прочностью соединения и высотой диффузионной зоны для одностадийного МТФ составляет 0,998, а для двухстадийного МТФ – 0,92. Такое изменение прочности соединения вызвано тем, что увеличение содержания кобальта в сплаве повышает его прочность. Кроме того, чем больше высота переходной зоны (до определенного предела), тем выше ее релаксационная способность и ниже остаточные напряжения в соединении [2, 3].

Метод МТФ также обуславливает прочность соединения. Так после одностадийного МТФ прочность соединения в 1,6-1,9 раза выше, чем после двухстадийного несмотря на то, что высота переходной зоны напротив на 3-5 мкм меньше. Это, по-видимому, объясняется разной величиной остаточных напряжений в биметаллических зубках вследствие различия в скоростях охлаждения после МТФ (при двухстадийном МТФ - охлаждение на воздухе, а при одностадийном - в графитовой пресс-форме).

Для повышения прочности соединения и предотвращения обезуглероживания твердого сплава биметаллических зубков при двухстадийном МТФ предложено применять прослойку никеля толщиной 10-50 мкм, наносимую в виде порошка, фольги или электролитическим способом на сталь [1]. Прове-

денные исследования показали, что нанесение прослойки в виде порошка никеля непосредственно в процессе МТФ увеличивает высоту диффузионной зоны на 8-10 мкм, однако прочность соединения существенно не меняется (см. рис. 4 и таблицу 2). Это вызвано большим количеством карбидных зерен в диффузионной зоне при таком способе нанесения прослойки, что ведет к снижению ее релаксационной способности.

Исследовалась возможность повышения прочности соединения за счет уменьшения остаточных напряжений, вызванных разными температурными коэффициентами линейного расширения стали и твердого сплава, для чего биметаллические зубки сразу после двухстадийного МТФ подвергались закалке в масле. При этом в стали происходят мартенситные превращения, сопровождающиеся увеличением ее объема, что компенсирует разные температурные коэффициенты линейного расширения материалов биметаллических зубков.

После закалки и последующего отпуска прочность соединения возросла в 1,5-2 раза (см. таблицу 1), но долговечность биметаллических зубков при ударном нагружении резко упала, что объясняется образованием микротрещин на поверхности твердого сплава при резком охлаждении. При использовании стали 45 прочность соединения после закалки практически не изменилась, что обусловлено низкой скоростью охлаждения.

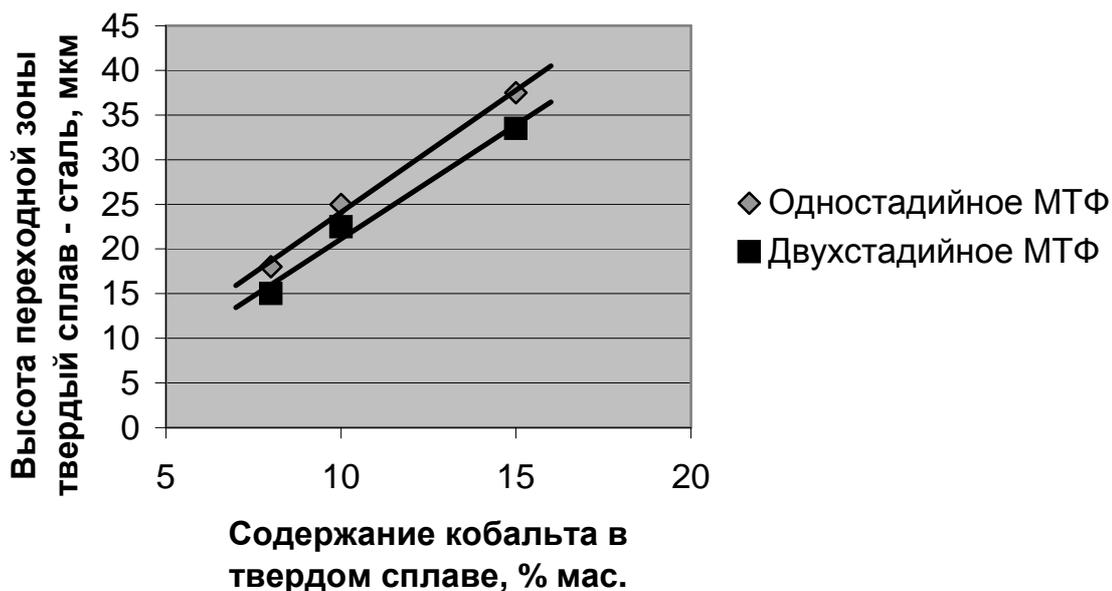


Рисунок 3 – Зависимость высоты переходной зоны твердый сплав – сталь от содержания кобальта в твердом сплаве.

Таблица 2 – Параметры соединения твердый сплав – сталь с никелевой прослойкой.

Марка твердого сплава	Марка стали	Количество стадий МТФ	Высота переходной зоны, мкм	Прочность соединения при срезе, МПа	Примечания
ВК10-КС	45	2	25	300	без никелевой прослойки
ВК10-КС	45	2	33	307	с никелевой прослойкой

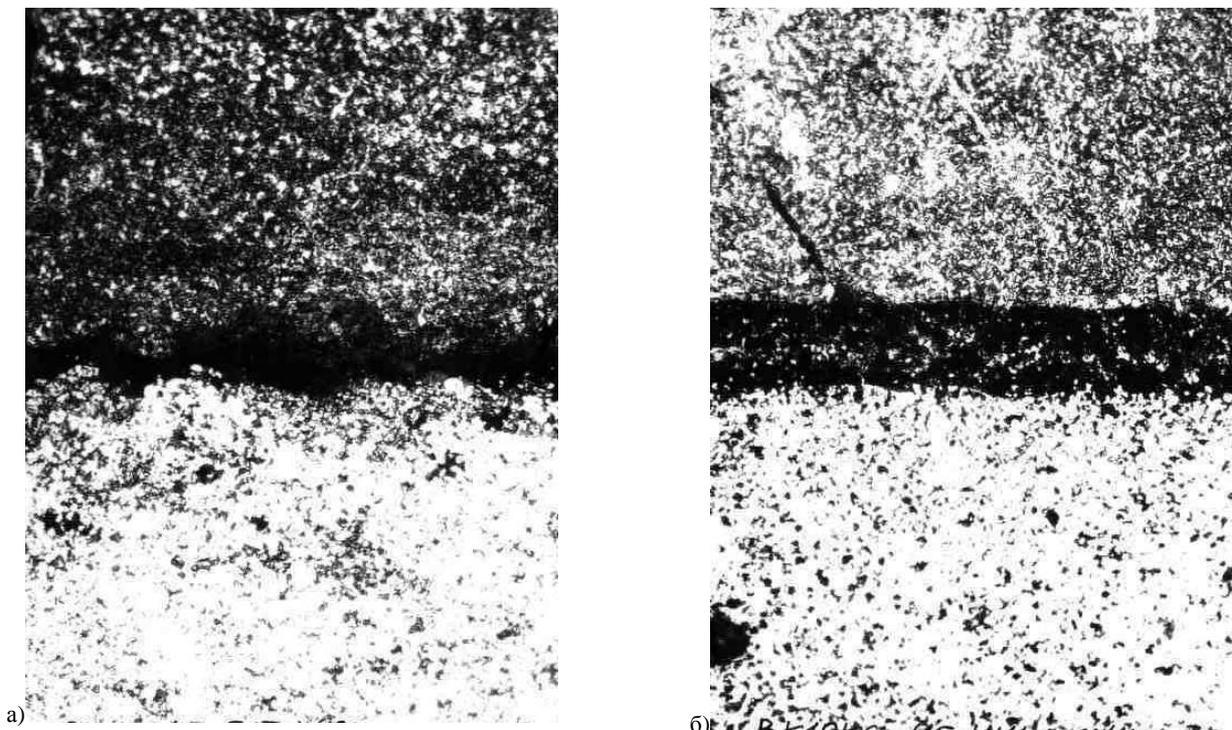


Рисунок 4 – Переходная зона твердый сплав ВК10-КС – сталь 45 с никелевой прослойкой (б) и без нее (а).

При испытании на срез разрушение соединения носило хрупкий характер. Трещина возникла в месте контакта с ножом и в дальнейшем развивалась по твердому сплаву на границе со сталью, что указывает на высокую прочность диффузионной зоны твердый сплав - сталь.

Достигая определенного значения, равного 200 МПа, прочность соединения перестает оказывать определяющее влияние на долговечность биметаллических зубков при ударном нагружении. Дальнейший рост прочности соединения не сопровождается увеличением долговечности и корреляция между данными характеристиками не наблюдается.

Прочность соединения твердого сплава со сталью при МТФ практически не уступает прочности соединения, полученного диффузионной сваркой ($\tau_{cp} = 392 - 450$ МПа), и пре-

восходит прочность при пайке ($\tau_{cp} = 169 - 219$ МПа). Это подтверждает возможность изготавливать биметаллические изделия методом электроконтактного механотермического формирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барило И. Г. Повышение износостойкости долот за счет использования комбинированных твердосплавных зубков: Автореферат дис. ... к.т.н., - М., 1975. - 20 с.
2. Диффузионная сварка материалов: Справочник. / Под ред. Н Ф. Казакова. - М.: Машиностроение, 1981. - 271 с.
3. Ключко Н. А. Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента. - М.: Металлургия, 1981. - 206 с.

УДК 621.65/69.01

Голуб В.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ КОЛЕЦ ПАР ТРЕНИЯ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ

Комбинирование различных веществ остается сегодня одним из основных способов создания новых материалов. Большинство современных конструкционных материалов, применяемых в узлах трения машин, представляют собой композиции, которые позволяют обеспечивать машинам заданные эксплуатационные свойства. Во всех случаях – это система разных компонентов, каждый из составляющих которой имеет свое конкретное назначение применительно к рассматриваемому готовому изделию. Совместная работа вводимых компонентов дает эффект, равносильный созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих.

К материалам колец пар трения торцовых уплотнений предъявляются высокие требования. Они должны сочетать в себе одновременно высокие антифрикционные свойства, теплопроводность и износостойкость. Одним из путей создания такого материала является использование составляющих, обладающих разными свойствами: высокая твердость элементов жесткого пористого каркаса, который заполняется пластичной связующей фазой. Твердая фаза обеспечивает высокую износостойкость и твердость, а связующая – обладает пластичностью, теплопроводностью и необходимыми антифрикционными характеристиками [1].

Для обеспечения однородности и дисперсности пропитки спрессованный каркас должен иметь тонкую равномерно распределенную по объему пористость, что достигается применением шихты из твердых порошков разной зернистости. На основании проведенных исследований подобран состав твердой фазы: релит ($WC+W_2C$) зернистостью 0,18 – 0,65 мм (содержание в шихте 60 – 80%) и тонкодисперсный порошок смеси карбида вольфрама и кобальта ВК-6 (содержание в шихте 20 – 40%).

Приведенный состав позволяет получать композиционный материал, наносимый на контакт пар трения, обладающий определенными антифрикционными свойствами, которые обеспечиваются за счет рационального выбора состава пропитки. Анализ физико-механических свойств состава пропитки позволяет выделить ряд элементов, комбинации которых обеспечивают требуемые свойства связующей фазы. Это медьсодержащие сплавы, включающие в свой состав: никель, марганец, хром, бор, кремний фосфор и др. [2].

В качестве связующей фазы, возможно, использовать и готовые пропиточные сплавы – припои, выпускаемые промышленностью, с содержанием требуемых компонентов в определенном соотношении, такие как: ВПр-4, ЛМНЦ-60-90-5 и др. Пропитка проводится в восстановительной или защитной атмосфере.

Выявление износных характеристик пар трения в рабочих абразивосодержащих средах выполнялись на специальном стенде [3], позволяющем изменять нагружение контакта пары трения, частоту вращения и концентрацию абразива.

Испытывались одноименные пары трения из: силицированного графита (СПП) – эталон; композиционной наплавки из разнозернистых порошков карбида вольфрама с медноникелевой пропиткой (ТМ-1); композиционной наплавки из разнозернистых порошков карбида вольфрама с пропиткой сплавом ВПр-4 (ТС); композиционной наплавки из порошков ВСНГН. Переменными факторами были процентное содержание абразива в жидкости и время испытаний.

Исследование влияния крупности абразивных частиц на износ материалов колец было проведено на паре трения СПП. Для этого были применены фракции кварцевого песка А2К 0315Б ГОСТ 2138-74 крупностью: менее 0,050 мм; 0,050 – 0,063 мм; 0,063 – 0,100 мм; 0,100 – 0,315 мм. Концентрация абразива в гидросмеси принималась 5% от объема.

Отмечен максимальный износ пары трения при крупности абразивных частиц 0,100 мм и менее, т.е. чем меньше размер абразивных частиц, тем больше износ. Износ при большей крупности абразивных частиц изменяется очень медленно.

Наибольший износ колец отмечается при крупности абразивных частиц менее 0,050 мм в гидросмеси, соизмеримых с величиной щелевого зазора пары трения, что дает основание проводить сравнительные эксперименты в гидросмеси с такой крупностью абразивных частиц. Процентное содержание абразива изменялось от 1 до 20% (рисунок. 1).

Из рисунка 1 видно, что скорость износа колец пары трения ТМ-1 в 2 раза меньше, чем ТС и почти в четыре раза меньше, чем колец СПП.

На рисунке 2 представлена фотография контактного кольца с износостойким покрытием рабочей поверхности композиционным материалом из разнозернистых порошков карбида вольфрама и медьсодержащей матричной связки после испытания в течении 14 часов работы на стенде в гидроабразивной среде.