

Технология получения металлических слоистых композиций на основе молибдена и его сплавов для инструментального производства

Ф.Р. Норхужаев, Р. Ф. Норхужаева, А.Х. Аликулов, Д.Б. Бахтиёров  
*Ташкентский государственный технический университет  
имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан*

*В статье приведены созданные аналитические выкладки и разработанная технология молибдена и его сплавов, а также представлены результаты разработки технологической основы получения металлических слоистых композиций литьем по газифицируемым моделям на основе новой теплофизической модели. Показаны результаты всестороннего исследования механизма формирования, состава, строения, физико-механических свойств металлических слоистых композиций типа молибден и его сплавы – конструкционной стали.*

*Ключевые слова: металлические слоистые композиции, молибден, инструментальное производство, литьё по газифицируемым моделям, вставка, рабочий элемент, промежуточный слой.*

Научно-исследовательские работы по созданию металлических слоистых композиций проводятся в мире более, чем в тридцати странах. В настоящее время в условиях интенсификации производства при выпуске качественных изделий разработка металлических и неметаллических композиций с высокими механическими свойствами является одной из важных задач производства.

В годы независимости нашей республики особое внимание уделяется производству высококачественной и конкурентоспособной на мировом рынке машиностроительной продукции. Развитие машиностроительной отрасли, её продукции, которая должна соответствовать современным требованиям по увеличению надёжности, безопасности и срока службы производимых машин и механизмов, аппаратов и оборудования и их материалов – все это привело к достижению значительных результатов.

В настоящее время важное значение имеет повышение экономической эффективности отраслей экономики, по созданию нового состава производимых материалов; эффективное и экономическое совершенствование технологий получения изделий методом литья имеет важное значение для повышения показателей народного хозяйства.

В этом аспекте целенаправленные научно - исследовательские работы, в том числе проведение научных исследований следующих направлений являются одними из важных задач: создание композиционных материалов с использованием специальных металлических слоистых композиций, обеспечивающих качество продукции; разработку технологий получения металлических слоистых композиций; совершенствование теоретических и технологических основ термической обработки, способствующих повышению

прочности металлических слоистых композиций; создание и производство энерго- и материалосберегающих новых металлических слоистых композиций на основе последних достижений науки и техники, предполагающих экономию дефицитных инструментальных материалов и повышение производительности. Вышеуказанные научно-исследовательские направления, а также результаты выполняемых по данным направлениям научных исследований служат обоснованием актуальности темы данной научной статье.

Для изготовления матриц все большее распространение находят молибден и его сплавы, что обусловлено их высокой жаропрочностью и длительной прочностью при  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , высокой теплопроводностью и относительно низким коэффициентом теплового расширения. Первые попытки его применения в практике процесса прессования относятся к 1961 г. [1-4].

Молибден и его сплавы используются в химической и нефтеперерабатывающей промышленности [1-4], в машинах для литья под давлением [3], а также в высокотемпературных промышленных печах [4].

Коэффициент линейного расширения молибдена зависит от его чистоты и структуры. Для интервала температур  $20 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  коэффициент линейного расширения молибдена составляет от  $4,9 \times 10^{-6}$  до  $5,2 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Для молибдена высокой чистоты он равен  $4,9 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Удельная теплоемкость молибдена при  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  равна  $0,0058\text{ кал}/(\text{г}\cdot\text{град})$ . Теплопроводность молибдена при комнатной температуре составляет  $0,34\text{ (кал}/\text{см}\cdot\text{с}\cdot\text{град})$  [5, 6].

Использование матриц из молибденового сплава дало хорошие результаты при прессовании, как черных металлов, так и цветных сплавов [5].

В настоящее время молибден и сплавы на его основе производятся как методом вакуумного переплава в дуговых или электроннолучевых печах, так и методами порошковой металлургии. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, в частности, наряду с получением качественного молибдена и его сплавов, его стоимость высокая. Методом порошковой металлургии получают заготовки мелкозернистого металла, технологичного и сравнительно дешевого [5-7].

Чистые молибденовые сплавы и их аналоги [5- 7] характеризуются свойствами, близкими свойствам химически чистого молибдена. Они достаточно технологичны при высоких температурах и успешно подвергаются всем видам обработки металлов давлением.

Указанные сплавы, однако, склонны к рекристаллизационному охрупчиванию и не обладают высокими жаропрочными характеристиками. Поэтому они используются, в основном, в качестве материала изделий, при эксплуатации которых температурное воздействие не столь велико, чтобы инициировать прохождение рекристаллизационных процессов.

Сплавы молибдена рекомендуются для работы при температурах до  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$  как материал разового использования. Другим условием высокотемпературного использования этих сплавов является отсутствие высоких напряжений эксплуатации изделия, а также вибро- и ударных

нагрузок между термоциклами, когда материал находится в охлажденном состоянии [1- 4].

В настоящее время разработано несколько десятков марок промышленных молибденовых сплавов. С одной стороны, это свидетельствует о возможности выбора материала наиболее полно соответствующего конкретным требованиям современной техники. С другой стороны, это ставит в затруднительное положение как металлургическую промышленность, учитывая различные условия их легирования, выплавки и термомеханической обработки, так и потребляющие отрасли техники, так как недостаточно ясны критерии выбора материала для конкретных условий работы изделий. Поэтому молибденовые сплавы подразделяются на низколегированные (НЛС), высоколегированные (ВЛС), дисперсно-упрочненные (ДУС) [1-4].

Молибденовые сплавы типа VM-1, VM-2, MT и другие используются в качестве материала штампового инструмента для прессования металлов и сплавов [1 - 7].

При прессовании труб из углеродистых и нержавеющей сталей на трубопрофильных прессах опытные матрицы из молибденового сплава марки VM-2 показали увеличение стойкости в 10-11 раз по сравнению с матрицами из стали 3X2B8Ф [1 - 5].

Положительные результаты испытаний образцов с добавлением указанного материала получены при прессовании прутков из вольфрама [85 - 88].

Повышенное содержание титана и циркония, а также углерода (до 0,3 %) в сплавах преследует цель увеличить их кратковременную и длительную прочность при температурах до 1200°C [6-8].

Приведенные ниже сплавы относятся к гетерофазным с карбидным упрочнением. Основу их составляет сложнолегированный твердый раствор, а фазами - упрочнителями являются карбиды.

Первые попытки применять молибденовые сплавы марок MT для матриц при прессовании медных сплавов оказались неудачными. Запрессованные вставки во время прессования выпадали из обойм, а диаметр очка матрицы быстро изменял размер [6- 8].

С целью повышения износостойкости и формоустойчивости штампового инструмента при повышенных температурах во ВНИИТС (Всероссийский научно-исследовательский институт твердых сплавов (РФ)) разработан высокотемпературный инструментальный материал [3-6], успешно используемый в качестве калибрующих элементов сборного прессового инструмента при прессовании тугоплавких металлов и жаропрочных сталей. Этот материал представляет собой литой эвтектический карбидо содержащий сплав системы Mo-TiC и, фактически является безвольфрамовым твердым сплавом на основе молибдена и карбида титана, полученным методом плавки [1-8].

На основе применения указанного выше материала разработана новая конструкция сборной матрицы [1-6]. Матрица состоит из корпуса из жаропрочных сталей (например, 3X2B8Ф, ДИ-22, ЖС6КП или 5ХНМ) с

заходным участком рекомендованного выше профиля, калибрующего пояса, выполненного в виде вставки из литого эвтектического карбида, содержащегося в сплаве и опорного кольца из стали [1-8].

Наибольшие преимущества сплава проявляются при температурах выше 800 °С, где его горячая твердость становится выше, чем у твердого сплава с 6-15% связки (HV=3500-1000 МПа). Предел прочности на изгиб в интервале 1000-1200 °С достигает 700 МПа и сохраняется на достаточно высоком уровне (200 МПа) при 1800 °С. Особенностью сплава является стабильность его структуры, вплоть до температуры плавления, и высокая износостойкость при температурах 800-1500 °С. Химический состав и некоторые свойства сплава представлены ниже [1-8]:

химический состав сплава, %: Мо - 87; TiC- 13;  
коэффициент линейного расширения  $-5,0 \times 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> ;  
плотность - 8,6 - 8,8 г/см<sup>3</sup>;  
твердость -HRC - 40 – 50;  
температура плавления – 2200 °С.

Одной из основных задач данной работы была разработка состава и технологии получения спеченной порошковой композиции системы Мо-TiC. Помимо основных компонентов Мо и TiC в состав композиции вводились с целью улучшения технологических и эксплуатационных характеристик Ni, Fe, W, и LaB<sub>6</sub>.

Сравнительная оценка сплава проводилась по двум характеристикам прочности на изгиб ( $\sigma_{из}$ ) и твердости по Роквеллу (HRA). Как известно, эти характеристики хорошо коррелируют с такими характеристиками, как горячая твердость и жаропрочность, определяющими работоспособность и долговечность штампового инструмента для горячей обработки давлением. Поэтому при разработке сплава в качестве критериев оценки при определении оптимального состава брались  $\sigma_{из}$  и HRA. Оптимизация состава проводилась с привлечением метода математического планирования экспериментов.

В результате получили оптимальный состав порошковой композиции, которая включает: 45-47 % TiC; 1,5-2,5% Fe; 1,5-2% Ni; 0,5-1% W; 0,1-0,2% LaB<sub>6</sub>; Мо – остальное.

Немаловажную роль для достижения высокого уровня свойств играет технология подготовки композиции и режимы её спекания. Технологический процесс изготовления образцов или изделий методом порошковой металлургии производился по обычным технологическим схемам получения твердых сплавов.

В результате исследований установлено, что спеченная композиция системы Мо-TiC обладает следующими физико-механическими свойствами :

коэффициент линейного расширения, град<sup>-1</sup> -  $6,61 \cdot 10^{-6}$ ;  
плотность, г/см<sup>3</sup> - 6,4 – 6,6;  
твердость, HRA - 88 - 90;  
прочность на изгиб, МПа - 800-1000.

Для изготовления металлических слоистых композиций необходимо выполнение следующих основных технологических приемов: подготовка

пенополистирола для изготовления пеномодели; изготовление пеномодели инструмента; подготовка рабочего элемента; подготовка и получение отливки; получение инструмента.

Получение металлической слоистой композиции типа литейная конструкционная сталь - рабочая вставка возможно в случае сопоставимости физико-механических характеристик материалов. Композиции такого типа представляют собой соединение между инструментальными и литейными конструкционными сталями. Основным преимуществом этого класса соединений является сокращение расхода легированных инструментальных сталей благодаря частичной замене их более доступными конструкционными сталями, и снижение трудоемкости изготовления штампового и многолезвийного режущего инструмента сложного профиля.

Вариант с промежуточным слоем является практически единственным для композиций, составляющие которых существенно отличаются по физическим характеристикам. К этим композициям относятся твердые сплавы - сталь, молибденовые сплавы - сталь. Для штампового инструмента (матрицы для горячего прессования металлов) и бурового инструмента (буровые коронки, долота и буровые шарошки) использовались вставки из твердых сплавов, предназначенные для паяного инструмента. Для создания композиций в качестве материала промежуточного слоя использовались сплавы системы Cu-Ni-Mn, Cu-Ni с толщиной 0,2 – 0,6 мм, напыленные плазменным способом.

Как указано выше, для корпуса инструментов использовались литейная конструкционная сталь, и в качестве его основной рабочей части молибден и его сплавы (МЧ, ВМ и Мо-TiC), а также твердые сплавы группы ВК и ТК.

Механизм формирования, состав, строение, физико-механические свойства металлических слоистых композиций типа “молибден и его сплавы - конструкционная сталь” исследовались всесторонне (рис.1).

Исследование металлических слоистых композиций типа “Инструментальный материал – конструкционная сталь” подтвердило получение сплошных соединений.

Учитывая и обобщая результаты проведенных исследований всех типов композиций, можно представить механизм и особенности формирования соединения между элементами композиций при участии промежуточного слоя.

Определен механизм и установлены особенности формирования соединения между элементами металлических слоистых композиций, по которому при контакте расплава конструкционной стали с поверхностью вставки – рабочего, режущего элемента происходит кристаллизация с образованием твердой корочки с последующим расплавлением материала промежуточного слоя и взаимодействия образующегося расплава с ограничивающими его твердыми поверхностями: с одной стороны инструментального материала, с другой – стали.

В результате формируется переходная зона композиции, имеющая сложную структуру и фазовый состав, включающие продукты взаимодействия между элементами расплава и основными составляющими композиции.

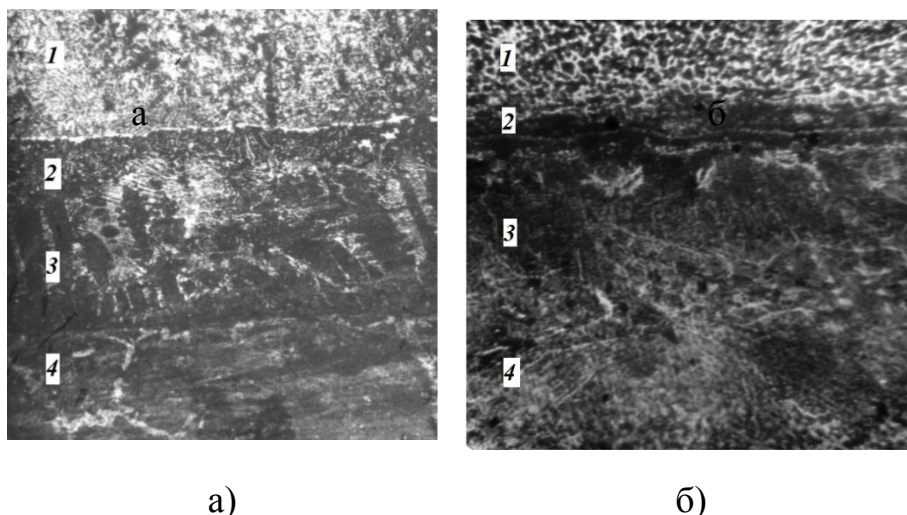


Рис. 1. Микроструктура переходной зоны металлических слоистых композиций: «спеченный сплав Мо-ТiС – ПР-Н58Ф – литая конструкционная сталь 40ХНМЛ» (а), металлическая слоистая композиция «спеченный сплав Мо-Тi С – Ni – литая конструкционная сталь 40ХНМЛ» (б). X150  
 1-зона миграции; 2-зона на основе материала переходного слоя; 3-корочка; 4-зона науглероживания.

На основе проведенных исследований (изучение микроструктуры, микротвердости, распределения элементов в переходной зоне, рентгенофазовый анализ) разработаны технологии получения ряда металлических слоистых композиций для металлообрабатывающих и почвообрабатывающих инструментов. Анализ механизма и особенностей формирования соединений всех полученных типов металлических слоистых композиций позволяет предсказывать ход процесса и выбирать технологические условия для создания металлических слоистых композиций с заданными свойствами.

Разработаны условия формирования переходной зоны между составляющими металлических слоистых композиций - молибден и его сплавов – конструкционный сталь. Эти имеет важное значение при формировании металлических слоистых композиций.

#### Библиографический список

1. Norknudzhaev F. R., Nazarov A. M., Yakubov L. E. Sintered powder composition on the basis of Mo – TiC // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and technology.–India, 2016. - p. 2347-2350.
2. Норхуджаев Ф.Р. Общая характеристика металлокерамических твердых сплавов и перспективы улучшения их свойств // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2004.-№3. – С. 98-101.
3. Норхуджаев Ф. Р. Состав, строение и свойства переходной зоны биметаллической композиции “молибденовые сплавы – литейные конструкционные стали” // Вестник ТашГТУ, 2001. №2. С. 99-102.
4. Технология литейного производства. Литье в песчаные формы: Учебник / Под. ред. проф. А. П. Трухова. М.: Академия, 2005. – 524 с.

5. Норхужаев Ф. Р., Габдуллина А. З. Технологические особенности получения литых биметаллических штамповых инструментов // Доклады Национальной Академии наук Республики Казахстан, 2008. №5. С.28-30.

6. Норхужаев Ф. Р. Надежность литых биметаллических композиций «Молибденовый сплав - сталь» для штампового инструмента // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2008. №1-2. С. 82-85.

7. Норхужаев Ф. Р. Литые биметаллические композиций «Молибденовый сплав - сталь» для штампового инструмента // Техника и технология. – (Россия) 2009. №1. С.10-12.

8. Норхужаев Ф. Р. Исследование металлических слоистых композиций для металлообрабатывающих инструментов // Композиционные материалы. – Ташкент, 2013. №1. С.59 - 61.