



УДК 621:753.5; 621:763

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ Mo–TiC

*Ф. Р. НОРХУДЖАЕВ, Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. E-mail: norhojaev.fayzulla.65@mail.ru.*

*Разработан новый состав спеченной порошковой композиции Mo–TiC, включающий добавки никеля, железа, вольфрама, LaB<sub>6</sub>. Изучены ее физико-механические свойства для применения в высокотемпературных условиях.*

## THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF DEVELOPING A NEW Mo–TiC POWDER COMPOSITION

*F. R. NORKHUZHAEV, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Republic of Uzbekistan, 2, Universitetskaya str. E-mail: norhojaev.fayzulla.65@mail.ru.*

*A new composition for sintered Mo–TiC powder, enhanced with nickel, iron, tungsten, and LaB<sub>6</sub> additives, has been developed. The physical and mechanical properties of this composition were studied, particularly its performance under high-temperature conditions.*

Одна из основных задач настоящей работы – разработка состава и технологии получения спеченной порошковой композиции системы Mo–TiC. Кроме основных компонентов, молибдена и TiC, для улучшения технологических и эксплуатационных характеристик в состав композиции вводили никель, железо, вольфрам и LaB<sub>6</sub> [1–3]. Так, никель вводили в композицию для достижения технологичности порошковой смеси. Добавление никеля в сплав обеспечивает хорошую прессуемость, а при спекании – необходимую плотность заготовки, что положительно сказывается на эксплуатационных свойствах [1–3].

С целью повышения технологичности в состав композиции вводили железо для восстановления оксидов на поверхности частиц карбида титана и твердорастворного упрочнения матрицы за счет усвоения титана молибденом [1–3]. Для твердорастворного упрочнения молибденовой основы в композицию добавляли вольфрам [1–3].

Частичная диссоциация LaB<sub>6</sub>=La+6B при высоких температурах объясняется введением в сплав гексаборидов редкоземельных металлов, в частности LaB<sub>6</sub> [1–3]. При изготовлении сплава гексаборид лантана является поставщиком активных атомов лантана и бора. Атомы бора в силу своей химической активности образуют бориды молибдена, а атомы лантана связывают вредные примеси в химические соединения. Показано, что образование боридов молибдена приводит к повышению жаропрочности и горячей твердости [1–3].

Экспериментальные исследования показали, что воспроизвести эвтектический сплав путем спекания порошковой композиции того же состава не удастся, так как спеченный сплав не отвечает требованиям ни по одному параметру. В связи с этим разработку сплава-заменителя проводили, с одной стороны, в направлении увеличения содержания TiC, а с другой – в направлении введения дополнительных присадок, улучшающих технологические и эксплуатационные характеристики сплава [1–4].

Сравнительную оценку образцов сплава проводили по двум характеристикам прочности: на изгиб ( $\sigma_{из}$ ) и твердости (HRA). Известно, что эти характеристики хорошо коррелируют с такими характеристиками, как горячая твердость и жаропрочность, определяющими работоспособность и долговечность штампового инструмента для горячей обработки давлением. Вследствие этого при разработке сплава за критерии оценки при определении оптимального состава выбирали  $\sigma_{из}$  и HRA. Оптимизацию состава спеченной порошковой композиции системы Mo–TiC проводили методом математического планирования экспериментов [5].

Оптимальный состав порошковой композиции включает: 45–47% TiC; 1,5–2,5% Fe; 1,5–2% Ni; 0,5–1,0% W; 0,1–0,2% LaB<sub>6</sub>; остальное – Mo.

Используя метод крутого восхождения при оптимизации, определен состав порошковой композиции, который принят за основу при проведении дальнейших исследований и обеспечивал уровень прочности образцов  $\sigma_{из} = 800\text{--}1000$  МПа и HRA = 88–90 [6].

Важную роль для достижения высокого уровня свойств играют технология подготовки порошкового сплава системы Mo-TiC и режимы ее спекания. Подготовка порошковой смеси велась в лабораторных шаровых мельницах при соотношении объемов смеси к объему шаров диаметром 20–40 мм из твердого сплава ВК6 1:4. Входящие в состав композиции компоненты разделили на две группы: в первую входили молибден, никель, LaV<sub>6</sub> и вольфрам, во вторую – TiC, железо и парамолибденат аммония ((NH<sub>3</sub>)·MoO·5H<sub>2</sub>O). Обе группы компонентов загружали в разные мельницы и проходили предварительное смешивание в среде этилового спирта в течение 12–16 ч. Затем составы соединяли, и окончательное смешивание продолжали еще 6–8 ч. Далее смесь просушивали в дистилляторе при температуре 100–120 °С в течение 8–12 ч. Высушенную смесь замешивали на пластификаторе – 3%-ном растворе каучука в бензине, затем она вновь проходила сушку в сушилке при температуре 100–120 °С в течение 16–24 ч.

Подготовленную смесь прессовали в формах под давлением 50 Н на пресс-агрегате П4626. После прессования изделия сушили в паровом шкафу при температуре 100–120 °С в течение 18–24 ч, затем подвергали предварительному спеканию в атмосфере водорода при температуре 600–700 °С в течение 1 ч [1–5].

Выбор режима окончательного спекания проводили в зависимости от назначения изделия. Так, при изготовлении штампового инструмента для работы в условиях высоких температур и давлении спекание проводили по режиму: среда – вакуум, не ниже 10–3 мм рт.ст.; температура спекания – 1450–1500 °С; время спекания – 4–6 ч.

После завершения первого этапа исследования очередной задачей было проведение оценки состава, структуры, уровня физико-механических и технологических характеристик полученного сплава [1–6].

Количественный фазовый рентгеноструктурный анализ показал, что в составе сплава, соответствующего оптимальному, входят следующие микроструктурные фазы: TiC, Mo<sub>2</sub>C, Mo (Ti).

Анализ положения интерференционных максимумов и их форма свидетельствуют о существенной степени легированности основных фаз и наличии в них микроискажений кристаллической решетки.

Исследование структуры этого же сплава показало (рис. 1), что основу сплава составляют равноосные зерна, имеющие небольшие отличия по величине, средний диаметр зерна колеблется в пределах 10–20 мкм, что соответствует 9–10 баллам (ГОСТ 5639-65). В основном распределены мелкодисперсные включения второй фазы. Распределение отличается равномерностью по всему телу зерна (рис. 1), с отдельными редкими скоплениями по границам. По границам зерен встречаются иногда выделения избыточной фазы, свидетельствующие об образовании жидкой фазы при спекании.

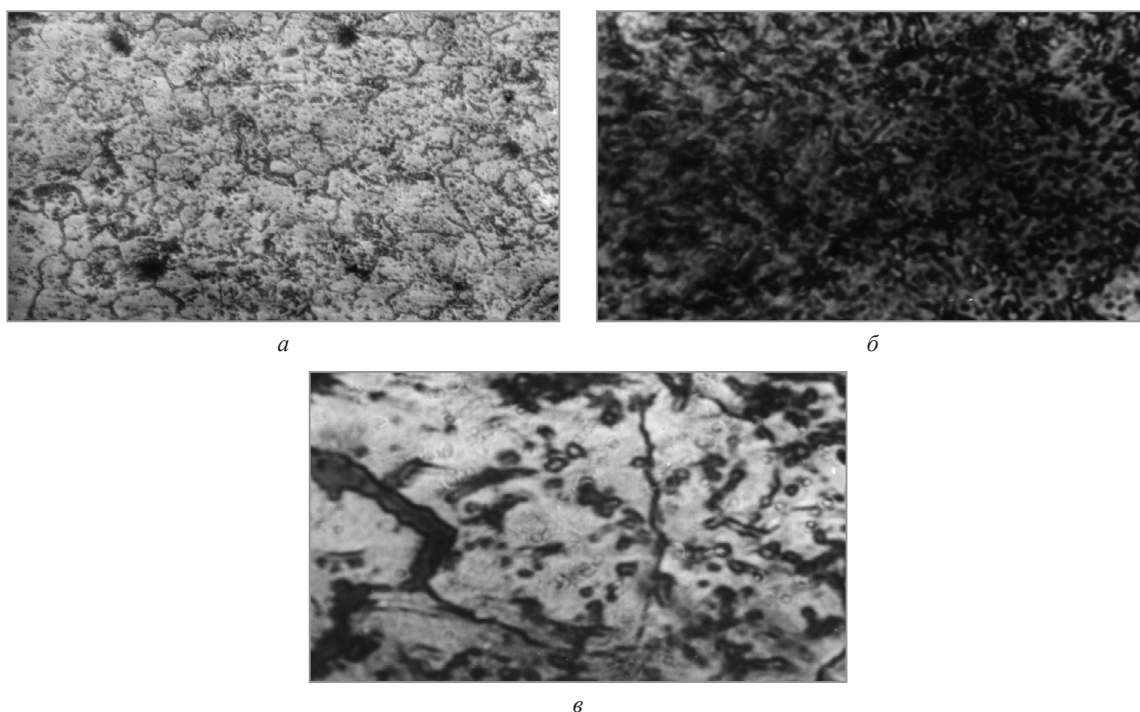


Рис. 1. Микроструктура спекенного сплава системы Mo-TiC: а –  $\times 250$ ; б –  $\times 600$ ; в –  $\times 1400$

Горячую твердость спеченной композиции системы Mo-TiC определяли на специальной установке высокотемпературной твердости (УВТ) в интервале температур 20–1600 °С. Испытания проводили в лаборатории кафедры «Металловедение стали и высокопрочных сплавов» Московского института стали и сплавов. Для проведения испытаний были изготовлены образцы из порошкового сплава системы Mo-TiC цилиндрической формы диаметром 8 мм и высотой 5–7 мм. При определении горячей твердости применяли метод статического вдавливания сапфирового индентора (монокристаллы синтетического корунда) типа стандартной правильной четырехгранной пирамиды с углом 136° между противоположенными гранями. Горячую твердость измеряли в атмосфере инертного газа высокой очистки, в качестве материала для нагревателя был выбран вольфрам. После нанесения отпечатков на поверхность образца, охлаждения его до комнатной температуры и извлечения из бункера проводили измерения под микроскопом диагоналей отпечатков. По этим данным вычисляли значения твердости в отдельных точках и строили график изменения твердости в зависимости от температуры (рис. 2). Как видно из рисунка, во всем температурном интервале 20–1600 °С спеченная композиция системы Mo-TiC имеет более высокие показатели твердости, чем литой эвтектический сплав этой же системы. Особенно заметное различие наблюдается в высокотемпературной области (1000–1600 °С), где уровень твердости у спеченной композиции выше в 1,5–2,0 раза.

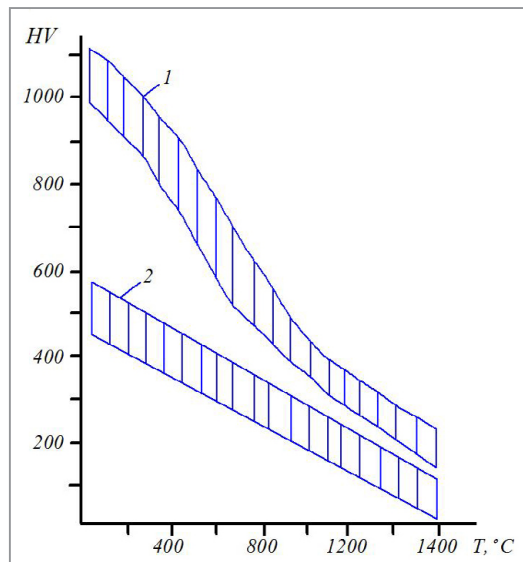


Рис. 2. Изменение твердости спеченного сплава системы Mo-TiC (1) и литого эвтектического сплава Mo-Ti (2) в зависимости от температуры испытаний

Физико-механические характеристики композиции, а именно, плотность, твердость HRA и прочность на изгиб определяли по методикам, установленным ГОСТ [3–5] для твердых спеченных сплавов: плотность – методом гидростатического взвешивания; твердость HRA – на приборе Роквелла или Викерса; прочность на изгиб  $\sigma_{из}$  – на разрывной машине УММ-5.

Для проведения испытаний готовили стандартные образцы размерами 6×6×40 мм.

В результате испытаний установлено, что спеченная композиция системы Mo-TiC имеет следующие физико-механические свойства [4, 5]: 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  $\sigma_{из}$ , МПа – 800–1000.

Таким образом, разработана рецептура спеченной порошковой композиции системы Mo-TiC, включающая 45–47% TiC; 1,5–25% Fe; 1,5–2,0% Ni; 0,5–1,0% W; 0,1–0,2% LaB<sub>6</sub>; Mo – остальное.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Норхужаев, Ф. Р.** Разработка состава спеченной порошковой композиции на основе Mo –TiC для штампового инструмента / Ф. Р. Норхужаев // Вестник ТашГТУ. – 2000. – № 1. – С. 23–26.
2. **Норхужаев, Ф. Р.** Разработка технологии получения безвольфрамового твердого сплава на основе Mo –TiC для режущего инструмента / Ф. Р. Норхужаев // Вестник автомеханического института. Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием на тему: «Современные тенденции развития автомобилестроения в России» 26–28 мая, 2004. – Тольятти. – 2004. – С. 123–125.
3. **Норхужаев, Ф. Р.** Теория и технология разработки новой порошковой композиции Mo –TiC / Ф. Р. Норхужаев // Композиционные материалы. – 2011. – № 3. – С. 55–58.

4. **Норхуджаев, Ф.Р.** Некоторые физико-механические и технологические свойства спеченного сплава на основе Mo –TiC / Ф.Р. Норхуджаев // Вестник ТашГТУ.– Ташкент. – 2001. – № 1. – С. 91–93.
5. **Норхуджаев, Ф.Р.** Общая характеристика металлокерамических твердых сплавов и перспективы улучшения их свойств / Ф.Р. Норхуджаев // Вестник ТашГТУ.– Ташкент. – 2004. – № 3. – С. 98–101.
6. **Norknudzhaev, F.R.** Sintered powder composition on the basis of Mo-TiC / F.R. Norknudzhaev, A.M. Nazarov, L.E. Yakubov // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and technology.– India, 2016. – P. 2347–2350.

#### REFERENCES

1. **Norhudzhaev F.R.** Razrabotka sostava spechennoj poroshkovej kompozicii na osnove Mo –TiC dlja shtampovogo instrumenta [Development of a sintered powder composition based on Mo – TiC for stamping tools]. *Vestnik TashGTU = Vestnik TashSTU*, 2000, no. 1, pp. 23–26.
2. **Norhudzhaev F.R.** Razrabotka tehnologii poluchenija bezvol'framovogo tverdogo splava na osnove Mo –TiC dlja rezhushhego instrumenta [Development of a technology for producing a tungsten-free hard alloy based on Mo – TiC for cutting tools]. *Vestnik avtomehanicheskogo instituta. Vserossijskaja nauchno- tehničeskaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem na temu: «Sovremennye tendencii razvitija avtomobilestroenija v Rossii» 26–28 maja, 2004, Tol'jatti = Vestnik of the Automotive Mechanical Institute. All-Russian scientific and technical conference with international participation on the topic: «Modern trends in the development of the automobile industry in Russia», May 26–28, 2004, Tolyatti, 2004, pp. 123–125.*
3. **Norhudzhaev F.R.** Teorija i tehnologija razrabotki novej poroshkovej kompozicii Mo –TiC [Theory and technology for developing a new powder composition Mo – TiC]. *Kompozicionnye materialy = Composite materials*, 2011, no. 3, pp. 55–58.
4. **Norhudzhaev F.R.** Nekotorye fiziko-mehaničeskije i tehnologičeskije svojstva spečennogo splava na osnove Mo –TiC [Some physical, mechanical and technological properties of a sintered alloy based on Mo – TiC]. *Vestnik TashGTU = Vestnik TashSTU*, 2001, no. 1, pp. 91–93.
5. **Norhudzhaev F.R.** Obshhaja harakteristika metallokeramičeskij tverdyh splavov i perspektivy uluchšenija ih svojstv [General characteristics of metal-ceramic hard alloys and prospects for improving their properties]. *Vestnik TashGTU = Vestnik TashSTU*, 2004, no. 3, pp. 98–101.
6. **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, pp. 2347–2350.