

ВЛИЯНИЕ СИЛИЦИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА 5ВМЦ

**П. И. Глушко, А. Ю. Журавлев, Н. А. Семенов, Н. А. Хованский,
Б. М. Широков, А. В. Шиян**

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*

Поступила в редакцию 03.03.2016

Изучено влияние силицидных покрытий и среды испытания на механические свойства сплава 5ВМЦ в интервале температур 25–1100 °С. Установлено, что во всем исследованном интервале температур непокрытые образцы, испытанные в аргоне, обладают более высокими прочностями и пластичными свойствами, чем покрытые, испытанные как в аргоне, так и на воздухе. Основной причиной снижения механических свойств образцов с покрытием является силицидный слой, свойства которого зависят от температуры испытания.

Ключевые слова: силицид, прочность, пластичность, относительное удлинение, сплав, температура.

ВПЛИВ СИЛІЦИДНИХ ПОКРИТТІВ НА МІЦНІ І ПЛАСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ 5ВМЦ

**П. І. Глушко, О. Ю. Журавльов, М. О. Семенов, М. О. Хованський,
Б. М. Широков, О. В. Шиян**

Вивчено вплив силіцидних покриттів та середовища випробувань на механічні властивості сплаву 5ВМЦ в інтервалі температур 25–1100 °С. Встановлено, що у всьому інтервалі температур зразки без покриття, випробувані в аргоні, мають більш високі міцність і пластичність, ніж зразки із покриттям, випробуваних як в аргоні, так і на відкритому повітрі. Основною причиною зниження механічних властивостей зразків із покриттям є силіцидний шар, властивості якого залежать від температури випробувань.

Ключові слова: силіцид, міцність, пластичність, відносне видовження, сплав, температура.

INFLUENCE OF SILICIDE COATINGS ON STRENGTH AND PLASTIC PROPERTIES ALLOY 5WMZ

**P. Glushko, A. Guravlev, N. Semenov, N. Khovanski,
B. Shirokov, A. Shijan**

Silicide coverings and environment influence on mechanical properties of an alloy 5VMZ in an interval of temperatures 25–1100 °C is studied. It is established, that in all investigated interval of temperatures a strength and plastic properties of uncovered samples tested in argon possess higher durability and plastic properties, than covered and tested both in argon, and on air. Principal cause of reduction in mechanical properties of samples with a covering is silicide layer presence which properties depend on temperature of test.

Keywords: silicide, strength, ductility, relative lengthening, alloy, temperature.

ВВЕДЕНИЕ

Сплав 5ВМЦ (марки 5В2МЦ-2) системы Nb-W-Mo-Zr относится к низколегированным жаропрочным ниобиевым сплавам с твёрдорастворимым упрочнением [1, 2]. Благодаря оптимальному содержанию легирующих элементов он обладает уникальным комплексом физико-химических и технологических характеристик, выгодно сочетающих высокие жаропрочность и низкотемпературную

пластичность с хорошей технологичностью при сварке и механической обработке [3]. Все эти свойства дают возможность применять ниобиевые сплавы для теплонагруженных деталей ракет и летательных аппаратов. Небольшое поперечное сечение захвата тепловых нейтронов и хорошая стойкость в контакте с жидкометаллическими теплоносителями делают сплавы ценным конструкционным материалом реакторов [1].

Однако, успешное использование сплавов в конструкциях, предназначенных для работы в окислительно-восстановительных средах, в значительной степени зависит от решения вопросов, связанных с разработкой надёжных защитных покрытий [2]. Формированию покрытий и их стабильности посвящено множество работ [1–6]. Согласно литературным данным, наиболее перспективными являются покрытия на основе силицидов тугоплавких металлов.

Силицидный слой может существенно воздействовать на структуру материала и на его механические свойства. В связи с этим, изучение влияния силицидных покрытий на прочностные и пластические свойства является актуальным.

Механические свойства сплава 5ВМЦ определяли при растяжении стандартных образцов, вырезанных из листового материала с рабочей частью длиной 25 мм, шириной 4 мм и толщиной 1 мм на разрывной машине, разработанной в Харьковском физико-техническом институте.

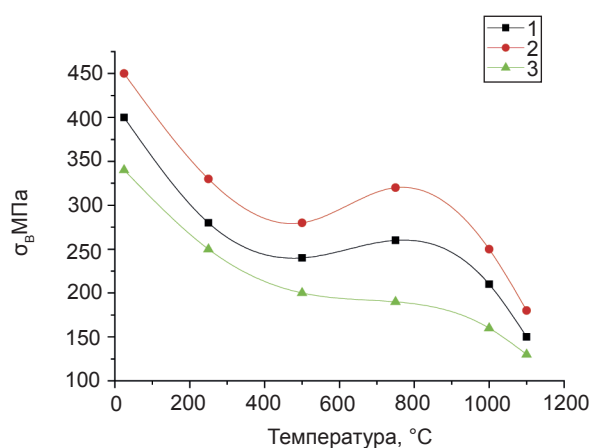
Силицидные покрытия на сплаве получали по двухстадийной технологии. Предварительно на образцы наносили слой молибдена (~35–40 мкм) путём термического разложения $\text{Mo}(\text{CO})_6$ с последующим силицированием в вакууме $6,7 \cdot 10^{-3}$ Па при температуре 1250 °С в течение 6 часов [5]. Покрытие состояло из тонкого слоя Nb_5Si_3 (~3–5 мкм) на границе со сплавом и основного внешнего слоя MoSi_2 (~100 мкм).

Исследование структуры и фазового состава проводили методами металлографического, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализа.

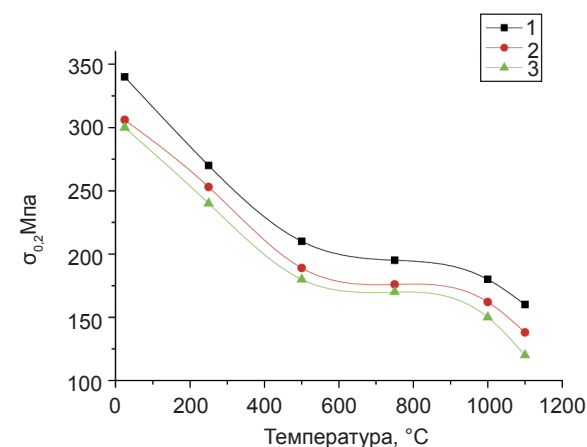
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены результаты механических свойств сплава 5ВМЦ с силицидным покрытием и без него. Изучение влияния покрытия и среды испытания проводили в аргоне и на воздухе.

Для температурных зависимостей механических свойств сплава 5ВМЦ характерна немонотонность изменения прочностных и пластических характеристик, присущая большинству ниобиевых сплавов.



а



б

Рис. 1. Температурная зависимость предела прочности (а) и предела текучести (б) сплава 5ВМЦ 1 — без покрытия, испытание в аргоне; 2 — с покрытием, испытание в аргоне; 3 — с покрытием, испытание на воздухе (здесь и на рисунке 2)

При 500–900 °С наблюдаются экстремумы, связанные с проявлением эффектов деформационного старения и блокированием движущихся дислокаций примесными атомами внедрения [6].

Предел прочности и предел текучести непокрытых образцов выше, чем покрытых, испытанных как в аргоне, так и на воздухе во всём исследованном интервале температур.

На рис. 2 приведены результаты влияния силицидных покрытий на относительное удлинение и сужение.

Относительное удлинение и сужение непокрытых образцов выше, чем покрытых, испытанных в аргоне и на воздухе.

Для образцов, испытанных в аргоне, относительное удлинение снижается от 22 % при 25 °С, достигая минимума (~17 %) при 500 °С, затем возрастает до

21 % при 1100 °С (рис. 2а). Относительное сужение образцов, испытанных в аргоне (рис. 2б), снижается с 24 % при температуре 25 °С, достигая минимума (~13 %) при 500 °С, затем возрастает до 25 % при 1100 °С.

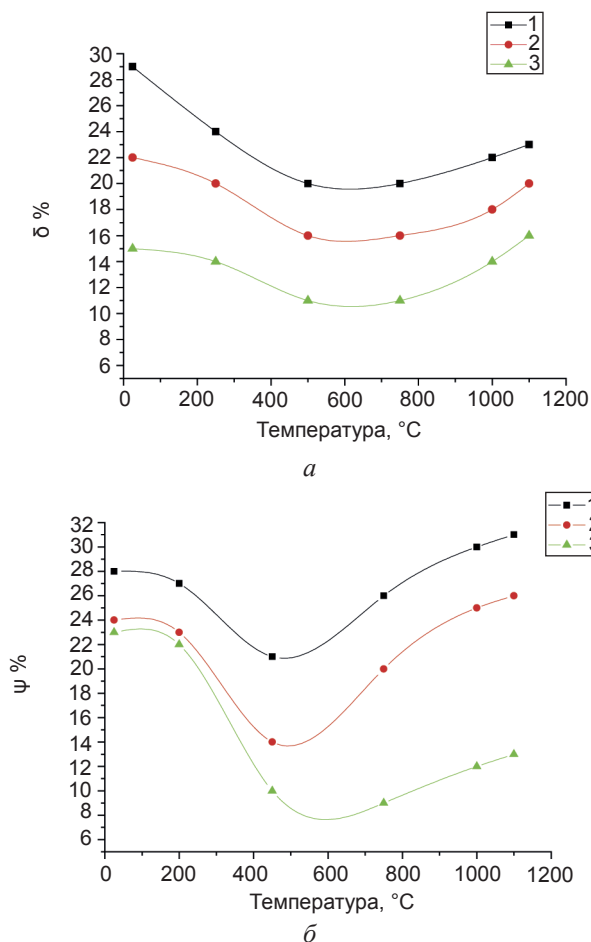


Рис. 2. Температурная зависимость относительного удлинения (а) и относительного сужения (б) сплава

Основной причиной снижения прочностных свойств образцов с покрытием является силицидный слой, свойства которого зависят от температуры испытания. При низких температурах покрытие хрупкое и при его растяжении появляются трещины, которые приводят к снижению прочностных характеристик.

Кроме этого, снижение прочности и пластичности образцов с покрытием, испытанных на воздухе, связано с образованием окислов в трещинах. В результате этого возникают внутренние напряжения, снижающие прочность и пластичность сплава.

ВЫВОДЫ

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о некотором снижении

механических свойств сплава. Это снижение является допустимым и сплав с силицидным покрытием может использоваться для работы в окислительно-восстановительных средах, в то время как сплав без покрытия вообще не может быть использован при температурах выше 500–600 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник Тугоплавкие материалы в машиностроении / Под ред. А. Т. Туманова и К. И. Портного. — М., 1967.
2. Бухановский В. В. Влияние силицидно-керамических покрытий на высокотемпературную прочность и пластичность ниобиевого сплава системы Nb-W-Mo-Zr / В. В. Бухановский // *Металловедение и термическая обработка металлов*. — 2004. — № 2. — С. 29–34.
3. Бурханов Г. С. Тугоплавкие металлы и сплавы / Г. С. Бурханов, Ю. В. Ефимов // *Металлургия*. — 1986. — 352 с.
4. Гуревич С. М. *Металлургия и технология сварки тугоплавких металлов и сплавов на их основе* / С. М. Гуревич // *Наукова думка*. — 1977. — Вып. II. — С. 3–8.
5. Змий В. И. Влияние NaCl на диффузионные параметры, характеризующие процесс вакуумного силицирования вольфрама / В. И. Змий, П. И. Глушко, В. Ф. Трофимов // *Изв. АН СССР. Неорганические материалы*. — 1981. — № 4. — С. 644–646.
6. Мак. Лин. Д. *Механические свойства металлов* // *Металлургия*. — 1965. — М. — 431 с.

LITERATURA

1. *Spravochnik Tugoplavkie materialy v mashinostroenii* / Pod red. A. T. Tumanova i K. I. Portnogo. — M., 1967.
2. Buhanovskij V. V. Vliyanie silicidno-keramicheskikh pokritij na vysokotemperaturnuyu prochnost' i plastichnost' niobievogo splava sistemy Nb-W-Mo-Zr / V. V. Buhanovskij // *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. — 2004. — No. 2. — P. 29–34.
3. Burhanov G. S. Tugoplavkie metally i splavy / G. S. Burhanov, Yu. V. Efimov // *Metallurgiya*. — 1986. — 352 p.
4. Gurevich S. M. *Metallurgiya i tehnologiya svarki tugoplavkih metallov i splavov na ih osnove* / S. M. Gurevich // *Naukova dumka*. —

1977. — Вып. II. — P. 3–8.
5. Zmij V. I. Vliyanie NaCl na diffuzionnye parametry, harakterizuyuschie process vakuumnogo silicirovaniya vol'frama / V. I. Zmij, P. I. Glushko, V. F. Trofimov // Izv. AN SSSR. Neorganicheskie materialy. — 1981. — No. 4. — P. 644–646.
6. Mak. Lin. D. Mehanicheskie svojstva metallov // Metallurgiya. — 1965. — M. — 431 p.