

Согласно литературным данным [6] микропористость определяется поступлением в сварочную ванну газов (в первую очередь водородом) во время сварки. При этом микропоры образуются в результате резкого изменения растворимости водорода в металле в момент затвердевания ванны.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке работ по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации и государственного задания в сфере научной деятельности (проект №11.351.2014/К).

Список литературы

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, – 2000. – 272с.
2. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. –М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398 с.
3. Зуев И. В., Рыкалин Н. Н., Углов А. А. Основы электронно-лучевой обработки материалов – М.: Машиностроение, 1978. - 239 с.
4. Шоршоров М.Х. Сварка титана и титановых сплавов –М.: Машиностроение, 1959. –133с.
5. Николаев Г.А. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х – М.: Машиностроение, 1979. – 3 том/Под ред. Винокурова В. А., 1979. –567 с.
6. Овчинников В.В. Сварщик на лазерных и электронно лучевых сварочных установках. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 64 с.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКОЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ СВС ПОРОШКОВ «КАРБИД ТИТАНА – ТИТАН»

М.Г. КРИНИЦЫН^{1,2}

¹ Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: krinmax@gmail.com

STRUCTURE AND PROPERTIES OF PROTECTIVE COATINGS PRODUCED BY ELECTRON BEAM DEPOSITION OF SHS COMPOSITE POWDERS "TITANIUM CARBIDE - TITANIUM"

M.G. KRINITSYN^{1,2}

¹Tomsk Polytechnic University

²Institute of Strength Physics and Materials Science

E-mail: krinmax@gmail.com

Annotation. A structure of Ti-TiC coatings with different contents of titanium binder, overlaid of composite powders, which were obtained by self-propagating high-temperature synthesis, was investigated. The structure was studied by X-ray analysis and metallography. A size of the carbide particles in coatings, hardness of coatings and rate of wear were measured.

Введение. Износостойкие покрытия на титановые сплавы представляют большой практический интерес, так как титан и его сплавы обладают низкой изно-

состойкостью из-за склонности к схватыванию в контактных парах практически со всеми металлическими материалами [1]. Толщина покрытий, наносимых на поверхность титана и его сплавов методами азотирования, оксидирования, хромирования, никелирования, вакуумно-дугового и магнетронного осаждения слишком мала, чтобы обеспечить необходимый ресурс работы деталей с покрытиями. Кроме того, в большинстве перечисленных выше методов существует проблема адгезии - надежного сцепления покрытия с подложкой.

Для получения «толстых» износостойких покрытий на титан и его сплавы широко используется порошковая наплавка, причем состав порошковой присадки подбирают таким образом, чтобы получить композиционное покрытие, имеющее структуру матричного композита с дисперсными включениями частиц тугоплавких соединений (карбидов, боридов, силицидов) в титановой матрице. Особый интерес в качестве твердой и тугоплавкой упрочняющей фазы в металломатричных композициях на основе титана представляет карбид титана. Для получения наплавленных композиционных покрытий «TiC-Ti» обычно используются механические смеси порошков титана, карбида титана и графита в различных сочетаниях [2-7]. Характерно, что практически во всех описанных случаях лазерной или электронно-лучевой наплавки частицы карбида титана выпадают из расплава-раствора титан-углерод на стадии его кристаллизации при охлаждении. Поэтому контролировать морфологию, дисперсность и объемную долю карбидных включений в структуре металломатричного композита очень трудно.

Эта проблема контроля структуры наплавленного покрытия легко решается применением для наплавки композиционных порошков «TiC – титановая связка» с заранее заданными вышеперечисленными характеристиками структуры. Необходимо только подобрать такие технологические режимы наплавки, при которых не происходит перегрева гранул порошка с растворением карбидных включений в расплаве. В настоящей работе исследована структура и фазовый состав композиционных порошков, полученных самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) в порошковых смесях титан – углерод.

Структура и свойства наплавленных покрытий. Для улучшения наплавляемости к композиционным порошкам с различным содержанием титановой связки добавляли порошок титана в количестве, необходимом для получения порошковых смесей с интегральным содержанием связки 80%. Микроструктура покрытий, наплавленных порошковыми смесями, содержащими композиционные порошки четырех исследованных составов, приведена на рис. 2. Структура покрытий представляет собой светло-серые частицы карбида титана, окруженные титановой связкой. Размер карбидных частиц тем меньше, чем больше титановой связки было в синтезированном порошке.

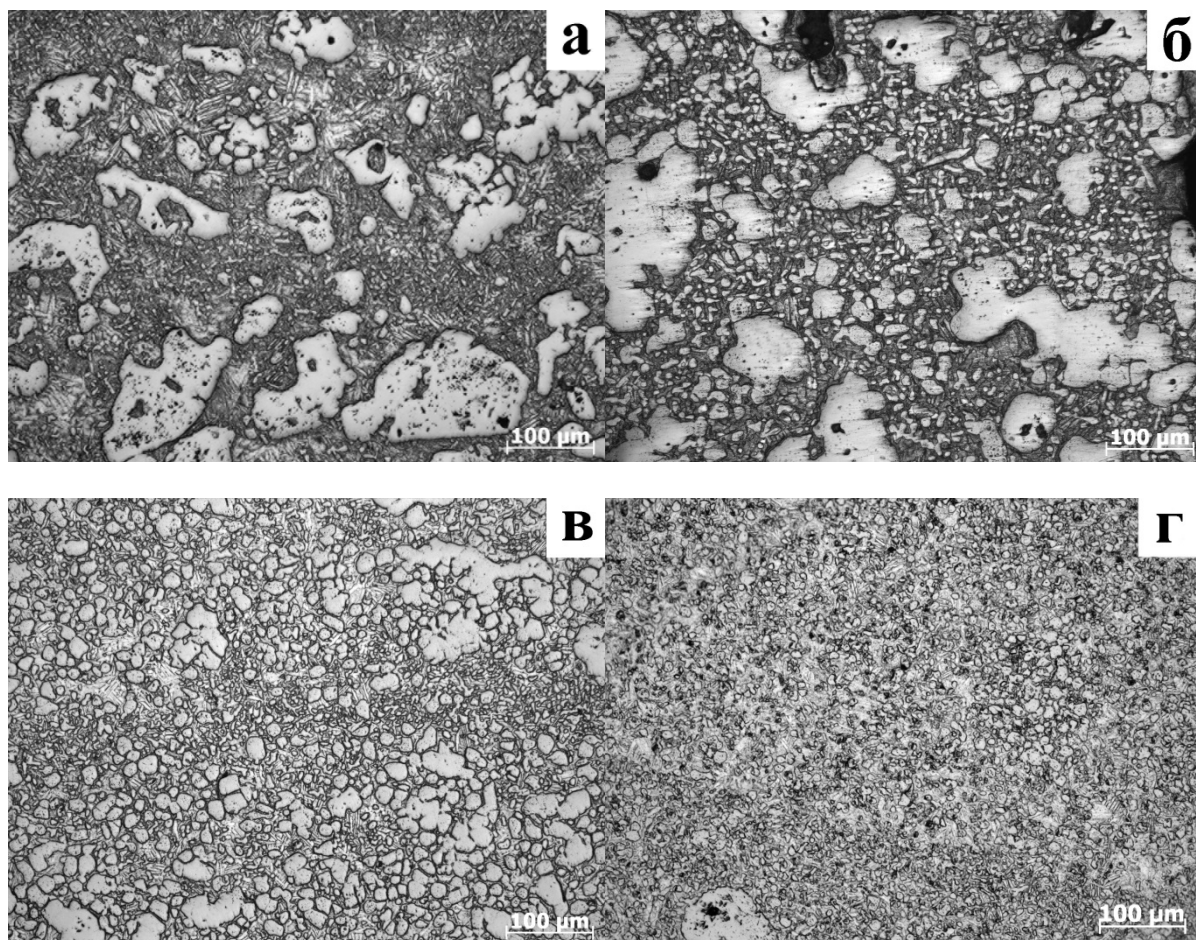


Рисунок 2 - Микроструктура наплавов $\text{TiC}_x\text{-Ti}$ полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80об.%Ti с расчетным ($x=1$) исходным содержанием титана: а) 30 об.%, б) 40 об.%, в) 50 об.%, г) 60 об.%

В покрытиях, наплавленных композиционным порошком с расчетным содержанием связки 30об.% Наблюдается значительная разница в размере карбидных частиц – с одной стороны это крупные (>100 мкм) пористые частицы, с другой стороны мелкие (<20 мкм) частицы в титановой связке. В связи с продолговатой формой многих мелких частиц, можно предположить, что большинство из них – титановые, с характерной для титана игольчатой формой, а зерна, имеющие более округлую форму - это карбидные зерна, отделившиеся от крупных частиц в процессе наплавления покрытия. В покрытиях остальных составов разброс по размеру карбидных частиц не так велик. Зависимость среднего размера зерна в исследуемых наплавленных покрытиях приведена на рис. 3.

Характер зависимости твердости покрытий от содержания связки в СВ-синтезированных порошках приведен на рисунке 4. Наблюдается тенденция на снижение твердости с увеличением содержания связки в порошках. Это можно объяснить, во-первых тем, что твердость нестехиометричного карбида ниже твердости стехиометричного, а с увеличением содержания связки в композиционных порошках карбид титана становится менее стехиометричным и во-вторых тем, что титановая связка обладает низкой твердостью, поэтому увеличение её содержания в композите приводит к снижению твердости в целом.

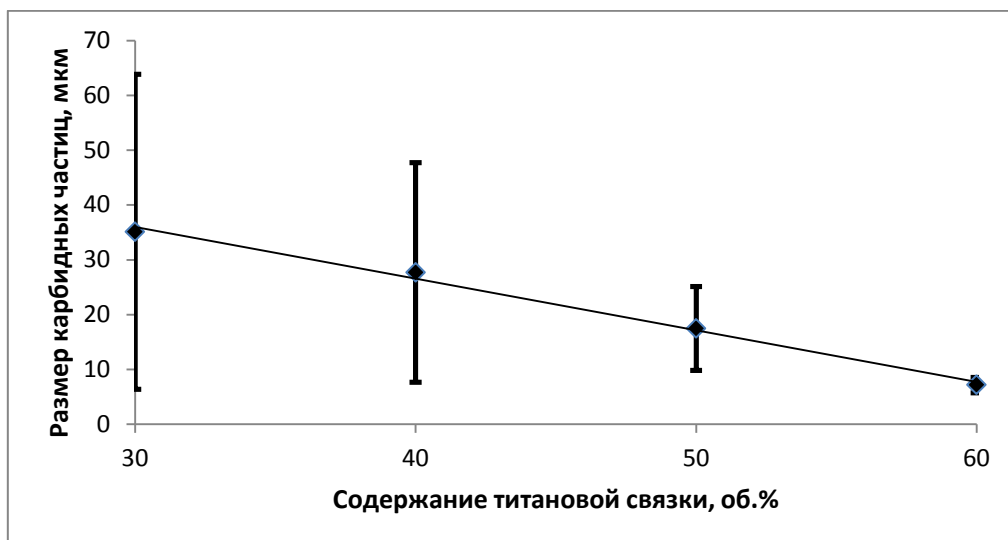


Рисунок 3 - Средний размер зерна в наплавках $\text{TiC} + \text{X об. \% Ti}$ полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80 об. % Ti

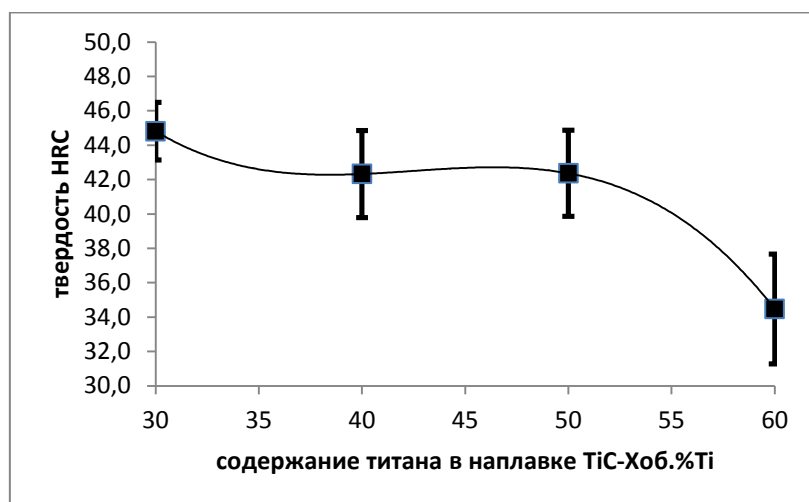


Рисунок 4 - Твердость наплавов $\text{TiC} + \text{X об. \% Ti}$ полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80 об. % Ti

По результатам испытаний покрытий на абразивный износ (рис. 5) выявлена четкая корреляция структуры наплавленных покрытий с их износостойкостью. При одинаковом интегральном содержании связки в покрытиях наибольшую износостойкость имеет покрытие с дисперсными частицами карбида титана, равномерно распределенными в титановой матрице (рис. 2г). Минимальную износостойкость при изнашивании кварцевым песком имеет покрытие, состоящее из крупных карбидных частиц, окруженных титановой связкой (рис. 2а). Таким образом, при увеличении содержания титановой связки в порошковых композитах, несмотря на снижение твердости, покрытия увеличивают свою стойкость к абразивному износу. Для выяснения причин такой зависимости износостойкости от структуры требуются исследования механизма изнашивания.

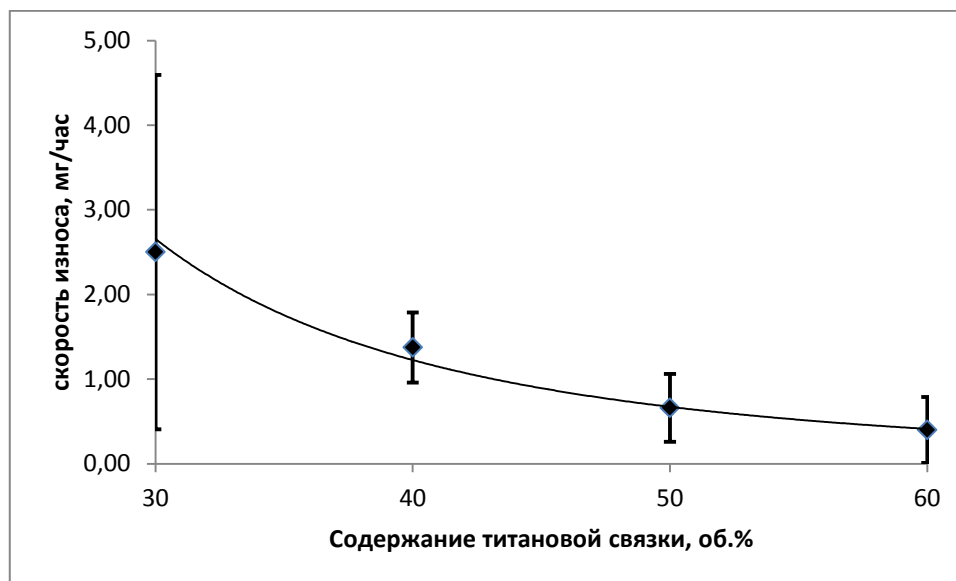


Рисунок 5 - Зависимость скорости износа от содержания титановой связки в наплавках TiC+Хоб.%Ti полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80об.%Ti

Для определения областей эффективного применения наплавленных покрытий с различной структурой необходимо определение износостойкости при других видах испытаний на абразивный износ, а также триботехнические испытания в контактных парах с различными материалами.

Список литературы

1. Zwikker Ulrich, Titan und Titanlegierungen – Springer-Verlag, 1974. – 717 p.
2. Hamedy M.J., Torkamany M.J., Sabbaghzadeh J. Effect of pulsed laser parameters on in-situ TiC synthesis in laser surface treatment. Optics and lasers in engeneering, 2011. – vol. 49, pp 557-563.
3. ZHANG Ke-min, ZOU Jian-xin, LI Jun, YU Zhi-shui, WANG Hui-ping. Surface modification of TC4 alloy by laser cladding with TiC+Ti powders. Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2010, vol. 20, pp 2192-2197.
4. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovski M.G., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenivtseva O.G. Structure of surface layers obtained by atmospheric electron beam cladding of graphite-titanium powder mixture on to titanium surface. Applied Surface Sciense. 2013, vol. 284, pp 472-481.
5. Weiping Liu, J.N. DuPont. Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by Laser Engeneering Net Shaping. Scripta Materialia. 2003, vol. 48, iss. 9, pp 1337-1342.
6. V.E. Panin, S.I. Belyuk, V.G. Durakov, G.A. Pribytkov, N.G. Rempe Electron beam surfacing in vacuum: equipment, technology, coatings' properties. Welding production. 2000, vol. 2, pp. 34-38.
7. Korosteleva E.N., Pribytkov G.A., Krinitcyn M.G. Structure and properties of powder cathode materials of titanium - titanium carbide system. Innovative technology and economics in mechanical engineering. National Research Tomsk Polytechnic University. Tomsk, 2014. pp. 273-276.

8. G.A. Pribytkov, M.N. Khramogin, V.G. Durakov, and V.V. Korzhova. Coatings produced by electron beam surfacing of composite materials consisting of titanium carbide and a binder of high-speed R6M5 tool steel. Welding international. Vol. 22, No. 7, July 2008, pp. 465-467.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЛЕГИРОВАНИЯ СИЛУМИНА ИОННО-ЭЛЕКТРОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

М.Е. РЫГИНА¹, О.В. КРЫСИНА², А.Д. ТЕРЕСОВ², Ю.Ф. ИВАНОВ^{1, 2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт сильноточной электроники Сибирского отделения
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)

E-mail: L-7755me@mail.ru

OPTIMIZATION OF PROCESSES ALLOYING SILUMIN BY IONIC-BEAM-PLASMA METHOD

M.E. RYGINA¹, O.V. KRISINA², A.D. TERESOV², YU. F. IVANOV^{1, 2}

¹Tomsk Polytechnic University

²Institute of High Current Electronics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

E-mail: L-7755me@mail.ru

Annotation. The surface morphology, chemical composition, microstructure, nanohardness, and tribological properties of a film silumin on aluminum were investigated. The film (Al-25% Si) / substrate (Al-12% Si) has modified by ion-electron-plasma method. The wear resistance and hardness of a slight increase in 1.3 times.

Введение. Силумины (сплавы алюминий-кремний) занимают ведущие позиции во многих отраслях промышленности, несмотря на значительный прогресс материаловедения в области создания новых сплавов и композитов, превосходящих силумины по свойствам [1]. Это связано с их относительно низкой стоимостью и высокими удельными характеристиками. Основной недостаток силуминов – сравнительно низкие прочностные свойства и повышенная хрупкость, что существенно сужает сферу их применения.

Цель данного исследования заключается в разработке метода формирования поверхностного слоя силумина с повышенными прочностными и трибологическими свойствами.

Материал и методики исследования. На первом этапе обработки на образцы силумина марки АК12 (Al-12%Si) напыляли тонкую (0,5 мкм и 1,0 мкм) пленку силумина методом распыления образца силумина с концентрацией кремния 23 % высокоинтенсивным импульсным электронным пучком, т.е. формировали систему пленка / подложка. На втором этапе систему пленка / подложка облучали высокоинтенсивным импульсным электронным пучком при плотности энергии пучка электронов $E_s = 15 \text{ Дж/см}^2$ и 20 Дж/см^2 , длительности воздействия пучка электронов 150 мкс, количестве импульсов 5, частоте следования импульсов $0,3 \text{ с}^{-1}$ с целью формирования поверхностного сплава на основе алюминия, обогащенного кремнием.