

6. Современные инструментальные материалы на основе тугоплавких соединений. Сб. трудов ВНИИТС. – М.:Мет-гия, 1985, 128с.
7. Зуев Л.В., Гусев А.И. Влияние нестехиометрии и упорядочения на период базисной структуры кубического карбида титана. – ФТТ. 1999, т.41, вып.4, стр.1134-1141
8. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справ.в 3 т./ под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996.-том 1. 992 с.
9. В.А.Жиляев, А.П.Штин. Взаимодействие карбонитридов, оксикарбидов и оксинитридов титана с концентрированными минеральными кислотами – Журнал неорганической химии, 2003, т.48, №8, с.1402-1408.
10. Алямовский С.И., Зайнулин Ю.Г., Швейкин Г.П. Оксикарбиды и оксинитриды металлов IVA и VA групп. М. Наука. 1981.
11. Kalambaeva S.S., Korosteleva E.N., Pribytkov G.A. Structure of composite powders “TiC – high chromium cast iron binder” produced by SHS method. IEEE conference publications. MEACS Conference Proceedings (International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems), 2014, DOI: 10.1109/MEACS.2014.6986945, Publication Year: 2014 , Page(s): 1 – 4.

ПОКРЫТИЯ «ТИТАН – КАРБИД ТИТАНА» ПОЛУЧЕННЫЕ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКОЙ

*М.Г. Креницын, аспирант
Томский политехнический университет
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-60-63-33
E-mail: krinmax@gmail.com*

Износостойкие покрытия на титановые сплавы представляют большой практический интерес, так как титан и его сплавы обладают низкой износостойкостью из-за склонности к схватыванию в контактных парах практически со всеми металлическими материалами [1]. 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 композитах 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.

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. 1. 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.

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.

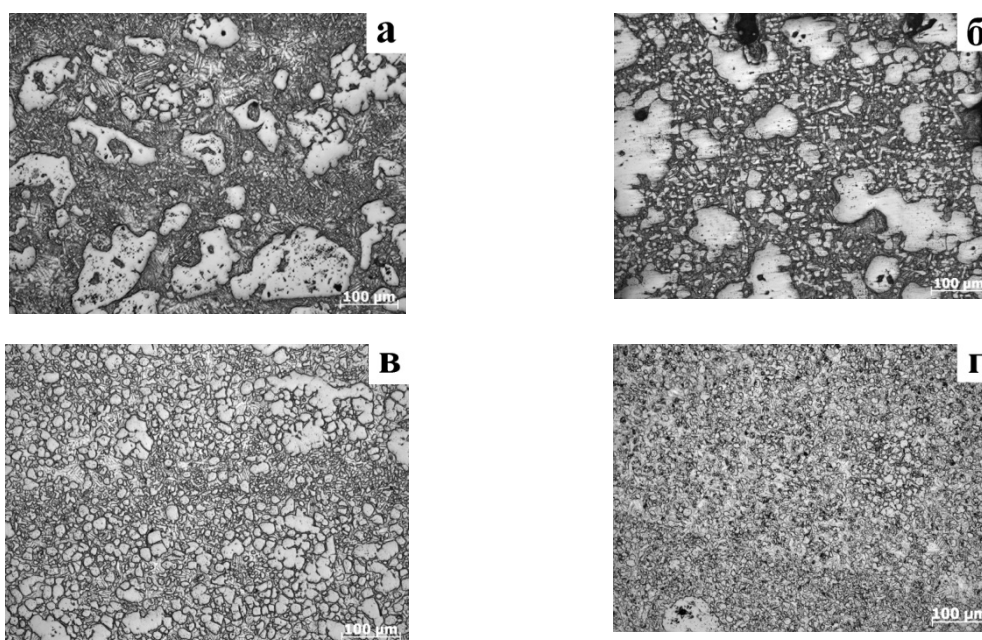


Рис. 1. Микроструктура наплавов TiC_x-Ti полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80об.%Ti с расчетным ($x=1$) исходным содержанием титана
а) 30 об.%, б) 40 об.%, в) 50 об.%, г) 60 об.%

Зависимость среднего размера зерна в исследуемых наплавленных покрытиях приведена на рис. 2. Характер зависимости твердости покрытий от содержания связки в СВ-синтезированных порошках приведен на рисунке 3. 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.

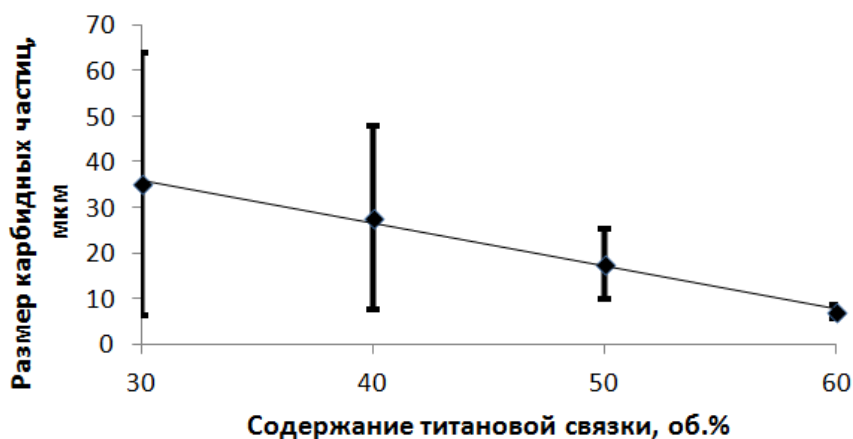


Рис. 2. Средний размер зерна в наплавах $TiC+Xоб\%Ti$ полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80об.%Ti

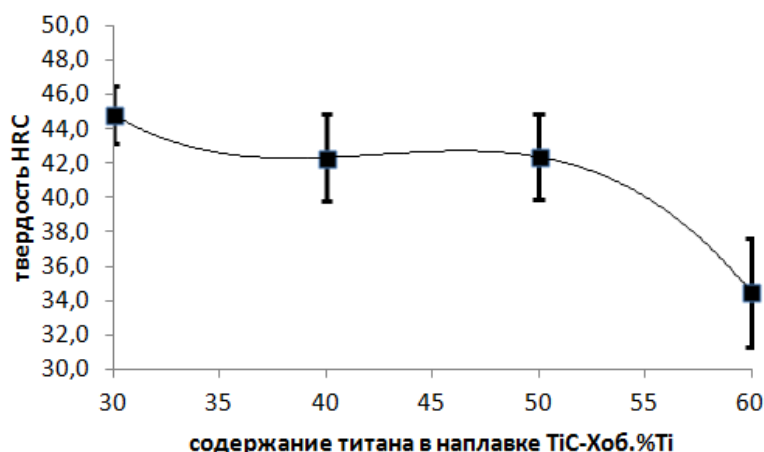


Рис. 3. Твердость наплавок TiC+Хоб.%Ti полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80об.%Ti

По результатам испытаний покрытий на абразивный износ (рис. 4) 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. 1г). Минимальную износостойкость при изнашивании кварцевым песком имеет покрытие, состоящее из крупных карбидных частиц, окруженных титановой связкой (рис. 1а). 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.

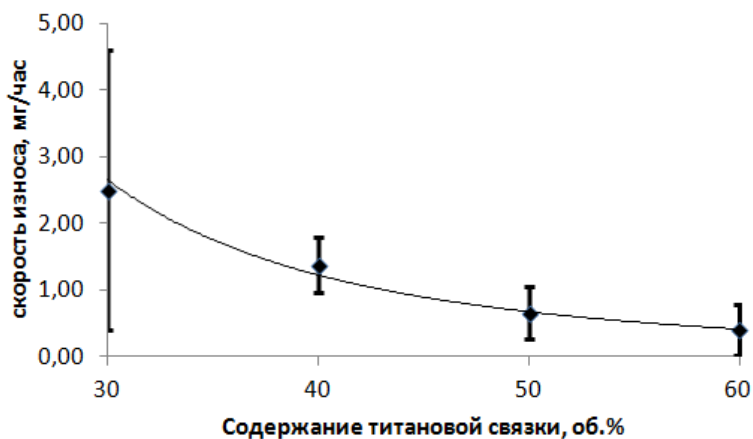


Рис. 4. Зависимость скорости износа от содержания титановой связки в наплавках TiC+Хоб.%Ti полученных на воздухе СВС синтезированием с дошихтовкой титаном до 80об.%Ti

Выводы

С увеличением содержания титановой связки в исходных СВС-композитах, износостойкость покрытий повышается, а твердость понижается. Наиболее оптимальным составом, обладающим высокими значениями и твердости и износостойкости, являются композиционные порошки с 50 об.% связки.

Литература.

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 engineering, 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 Science*. 2013, vol. 284, pp 472-481.
5. Weiping Liu, J.N. DuPont. Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by Laser Engineering 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.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Т.Д. Кожина, А.В. Курочкин
РГАТУ имени П.А. Соловьева
E-mail: prorectnir@rsatu.ru*

Электрохимическая обработка является уникальным технологическим методом, позволяющим получать сложнопрофильные фасонные поверхности на изделиях из труднообрабатываемых традиционными методами материалов. Этим объясняется всё более широкое распространение ЭХО в качестве основного способа размерной обработки профилей пера лопаток компрессора современных ГТД.

Однако, помимо широких технологических возможностей, ЭХО отличается от других методов обработки сложностью основного и вспомогательного оборудования, сложностью и дороговизной применяемых приспособлений (для базирования и закрепления лопаток), высокой энергоёмкостью процессов, вредными условиями работы персонала и негативным воздействием на окружающую среду.

Точность обработки ЭХО определяется совокупностью факторов, основными из которых являются: величина межэлектродного зазора и точность его установки, локализирующая способность электролита, его вид, концентрацию и условия прокачки; точность изготовления и коррекции электрода – инструмента; электрические режимы обработки; точность применяемого оборудования; равномерность распределения электрического потенциала.

Перспективный метод повышения точности ЭХО

Одним из методов повышения точности обработки, является электрохимическая обработка с вибрацией электродов – инструментов, которая характеризуется гармоническими колебаниями электродов и синхронизированным с ними наложением импульсного тока (осциллирующими электродами).

Для электрохимической обработки лопаток газотурбинных двигателей кроме кинематической схемы с вибрацией электродов, также используются импульсно-циклическая и постоянная схема подачи (таблице 1).

Таблица 1

Сравнение кинематических схем, используемых при электрохимической
обработке лопаток ГТД

Критерий сравнения	Кинематическая схема		
	Импульсно-циклическая	Вибрирующим ЭИ	Постоянная подача
Предельные отклонения геометрических размеров пера лопатки, мм	± 0,08	± 0,02	± 0,1
Производительность обработки, мм/мин	0,4	0,2	0,5...0,8
Возможность учета неравномерности распределения припуска и деформаций лопатки в процессе обработки	+	+	-