

разбивается так же, как в целом в структуре экспорта конечных товаров с примечательным лидерством оптовой и розничной торговли и гостиничного дела [1].

Таким образом, анализ научных публикаций, аналитических материалов международных организаций экономического профиля, опыт Китая свидетельствует о позитивном влиянии участия в ГЦСДС на экономику государств, секторов и отраслей, которые встраиваются в цепочки. Проведенный анализ позволил выделить преимущества от участия государства в ГЦСДС:

- расширение рынка сбыта за счет получения доступа к глобальным рынкам;
- повышение качества производимой продукции за счет специализации, основанной на сравнительных преимуществах и использовании высококачественных компонентов на всех стадиях производственного процесса;
- модернизацию технологий и улучшение человеческого капитала за счет освоения новых компетенций, обеспечивающих возможности перехода к участию в ГЦСДС на более высоких позициях с большей добавленной стоимостью;
- улучшение условий конкуренции и делового климата, которое особенно заметно в условиях присутствия в стране родственных и поддерживающих отраслей / кластеров;
- стимулирование привлечения прямых иностранных инвестиций в страну, которые к тому же могут являться важным источником технологий и знаний.

Также стоит отметить, что продвижение по цепочке само по себе является важным стимулом для развития инфраструктуры государства, повышения качества образования, инвестирования в научные исследования и разработки, создания благоприятных условий для ведения бизнеса.

#### Список использованных источников

1. Бирюкова О.В., Матюхина А.И. Китай на мировом рынке услуг / О.В. Бирюкова // Торговая политика. – 2016. – №2/6. – С. 94-107.
2. Матюхина А. Национальные инновационные системы стран БРИКС: схожее и различное // Достижения науки и образования. – 2016. – №6(7). – С. 40-42.
3. China Services Sector Analysis // ITC. URL: <[www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/Exporters/Sectors/Service\\_exports/Trade\\_in\\_services/China\\_ServicesBrief.pdf](http://www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/Exporters/Sectors/Service_exports/Trade_in_services/China_ServicesBrief.pdf)>
4. Trade in Value Added: China // OECD. URL: <[https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/miwi\\_e/CN\\_e.pdf](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/miwi_e/CN_e.pdf)>

УДК 621.793

### МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ИЗ СПЛАВА Zr-Ni С КЕРАМИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ CrAl

Захаров И.А.<sup>1</sup>, Касьяник А.В.<sup>1</sup>, Хомич Н.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УП «Полимаг»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

**Abstract.** High surface quality of the shells of fuel rods can be achieved in the process of their manufacture by applying the finishing operation of magnetic abrasive machining (MAM). As a result of MAM, a nanorelief of the surface and a near-surface layer are formed with a minimum of structural defects. The essence of the MAM process is that the ferroabrasive powder, under the influence of a magnetic field, takes the form of an "elastic brush" and polishes the surface of the product.

The operation of MAM tubular claddings made of Zr-Ni with CrAl coating was produced by ferroabrasive powders, based on iron with the addition of titanium carbide, boron carbide and with aluminium oxide. With the use of special process fluids. The "soft" modes of MAM, the influence of the magnetic field and the optimal compositions of powders and liquids make it possible to provide a complex of properties of shell tubes that meet the high requirements for the operation of atomic reactors.

**Введение.** Эффективная работа атомных реакторов и их безопасность непосредственно зависят от качества циркониевых компонентов тепловыделяющих сборок, в частности – оболочек твэлов.

Высокое качество поверхности оболочек твэлов может быть обеспечено в процессе их изготовления применением финишной операции магнитно-абразивной обработки (МАО). В результате МАО формируются нанорельеф поверхности и приповерхностный слой с минимумом дефектов структуры. В результате значительно повышаются функциональные свойства твэлов, надежность и эксплуатационная безопасность атомных реакторов [1, 2].

**Метод магнитно-абразивной обработки.** Суть процесса МАО состоит в том, что ферроабразивный порошок, под действием магнитного поля, приобретает вид «эластичной щетки» и полирует поверхность изделия. При этом импульсное магнитное поле оказывает определяющее воздействие на особенности формируемой поверхности с шероховатостью наноуровня и дефекты структуры приповерхностного слоя. Это влияние обусловлено физико-химическими явлениями и процессами массо- и теплопереноса на атомно-молекулярном уровне, протекающими в присутствии магнитного поля при взаимодействии обрабатываемого материала и компонентов ферроабразивного порошка и применяемых технологических жидкостей.

Операция МАО труб-оболочек твэлов из сплава Zr-Ni с покрытием CrAl производилась ферроабразивными порошками на основе железа с добавлением карбидов титана и бора и электрокорунда с применением специальных технологических жидкостей.

«Мягкие» режимы МАО, влияние магнитного поля и оптимальные составы порошков и жидкостей позволяют обеспечить комплекс свойств труб-оболочек, отвечающих высоким требованиям эксплуатации атомных реакторов.

**Результаты магнитно-абразивной обработки.** Одним из основных контролируемых параметров при изготовлении оболочек твэлов является показатель шероховатости Ra наружной и внутренней поверхностей изделия.

Значения размеров образцов представлены в таблице 1. Значения параметров шероховатости наружной поверхности образцов представлены в таблице 2.

На рисунке 1 представлены фотографии наружной поверхности образца с покрытием.

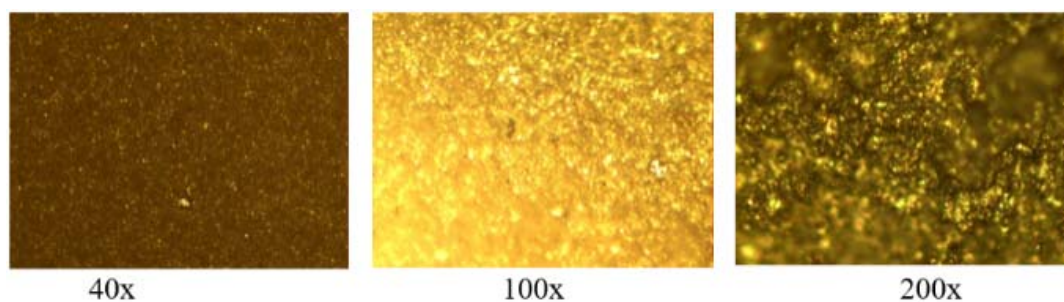


Рисунок 1 – Фотографии наружной поверхности образца с покрытием

Таблица 1 – Размеры образцов

| Образец           | Длина, мм | Наружный диаметр, мм |                |
|-------------------|-----------|----------------------|----------------|
|                   |           | 10 мм от края        | 100 мм от края |
| 1. CrAl coated Z4 | 400       | 9,594-9,599          | 9,705-9,721    |
| 2. CrAl coated Z4 |           | 9,591-9,601          | 9,701-9,716    |

Таблица 2 – Ra поверхности образцов

| Параметр шероховатости                | 1. CrAl coated Z4 | 2. CrAl coated Z4 |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Ra средн., мкм                        | 2,687-3,265       | 2,269-2,953       |
| Наибольшая высота профиля (Rmax), мкм | 21,10-27,50       | 18,60-29,70       |

Результаты MAO представлены в таблице 3 и на рисунке 2.

Таблица 3 – Результаты MAO

| Параметры            | Fe-TiC      | Fe-B <sub>4</sub> C | Fe-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|----------------------|-------------|---------------------|-----------------------------------|
| Наружный диаметр, мм | 9,545-9,547 | 9,660-9,664         | 9,539-9,543                       |
| Ra средн., мкм       | 0,352-1,061 | 0,624-1,235         | 0,106-0,428                       |

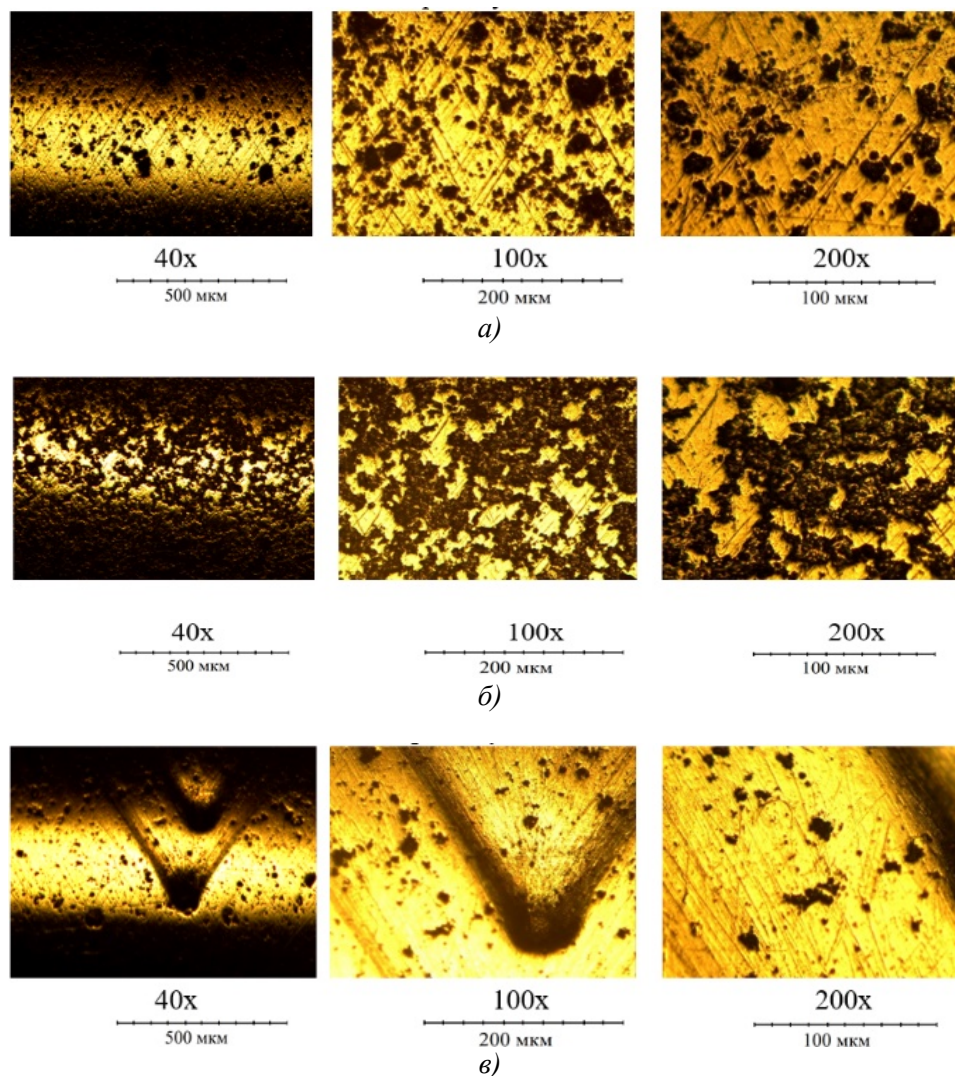


Рисунок 2 – Топография поверхности оболочек твэлов после MAO:  
*a* – Fe-TiC; *б* – Fe-B<sub>4</sub>C; *в* – Fe-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Заключение.** В результате MAO образцов оболочек твэлов с керамическим покрытием CrAl обеспечивается снижение параметра шероховатости Ra поверхности до 10 раз при сьеме материала на сторону около 25 мкм, что отвечает требованиям производства твэлов.

#### Список использованных источников

1. Хомич Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н.С. Хомич. – Мн.: БНТУ, 2006. – 218 с.
2. Ivanova S.V., Glagovsky E.M., I.I. Belugin I.I., Khomich M.S., Korogoda O.P., Khazov M.S. / Pilot process development to change surface properties providing the increased stability of LWR zirconium components in normal operation condition and in emergency situations // Reports on International Conference Top Fuel (Zurich, 21.09.2017). – Pp. 414-423.