

**ВНЕДРЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ЖАРОПРОЧНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СПЛАВОВ В ПРОИЗВОДСТВО ОСОБО ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

А.П. Сапожников, А.А. Таскинбаев

Научный руководитель: главный металлург, В.М. Астредин  
Акционерное общество «Конструкторское бюро химавтоматики»,  
Россия, г. Воронеж, ул. Ворошилова, 20, 394006  
E-mail: [info\\_kb@kbkha.ru](mailto:info_kb@kbkha.ru)

Развитие ракетно-космической промышленности и производственных технологий не стоит на месте. Следствием этого развития является усовершенствование конструктивных особенностей особо ответственных деталей жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), что в свою очередь позволяет достигать более высоких энергетических характеристик узлов, агрегатов и ЖРД в целом.

В настоящее время широкую популярность обретают аддитивные технологии (селективное лазерное плавление гранул, электронно-лучевое плавление металлических порошков и др.), в том числе и в ракетно-космической промышленности [1]. Данный метод изготовления имеет множество преимуществ по сравнению с традиционными методами (литье, штамповка, механическая обработка и др.), но широкое применение в ракетно-космической промышленности ограничено рядом факторов, таких как:

- импортное оборудование;
- отсутствие сертифицированных отечественных порошков;
- отсутствие нормативной базы, необходимой для внедрения аддитивных технологий в ракетно-космическую промышленность;
- низкое качество поверхности готовой детали и т.д.

Учитывая вышесказанное, вызывает интерес другой метод изготовления деталей из металлических порошков - горячее изостатическое прессование (ГИП).

Впервые в КБХА технология ГИП была применена для изготовления роторных деталей из никелевых и титановых сплавов в двигателе РД0120, для чего в 1985-1987 гг. была создана опытно-промышленная база порошковой металлургии (ОПБ ПМ) с необходимым, на тот период, комплексом технологического оборудования. В настоящее время в АО КБХА реализован полный цикл изготовления деталей из металлических порошков отечественных жаропрочных сплавов, включающий в себя изготовление порошков, получение и механическую обработку гранульных заготовок.

Технология ГИП обеспечивает получение деталей из жаропрочных сплавов с мелкозернистой изотропной структурой, обладающей высокими механическими свойствами материала [2].

Для изготовления деталей методом ГИП необходимо осуществить прессование металлического порошка, засыпанного в специальную капсульную оснастку, формирующую геометрию детали, и выполнить механическую обработку полученной заготовки.

В настоящее время усовершенствованная технология ГИП успешно отработана в АО КБХА на детали «Колесо турбины с валом», являющейся одной из самых трудоемких и длительных по циклу изготовления всего ЖРД [3]. Кроме того к данной детали предъявляются повышенные требования по качеству, надежности, эксплуатационным и энергетическим характеристикам.

В процессе отработки технологии изготовления особо ответственных деталей ЖРД из металлических порошков жаропрочных отечественных сплавов [4] на детали «Колесо турбины с валом» были выполнены следующие работы:

- 1) спроектирована и изготовлена специальная капсульная оснастка;
- 2) разработаны технологические процессы получения заготовки детали;

- 3) выполнена механическая обработка полученной заготовки;
- 4) проведены контрольные, разгонные и газодинамические испытания готовой детали;
- 5) подтверждены геометрия детали результатами контрольной порезки, механические свойства и структура материала - металлографическими исследованиями.

По итогам отработки технологии изготовления деталей методом ГИП на детали «Колесо турбины с валом» были получены положительные результаты, превышающие требования конструкторской документации, после чего данным методом были изготовлены высоконагруженные опытные образцы роторных деталей серийно изготавливаемых ЖРД 2-ой и 3-ей ступеней ракет-носителей серий Протон, Союз, Ангара и др. для проведения комплекса мероприятий, необходимых для внедрения в серийно изготавливаемые ЖРД.

Преимущества изготовления особо ответственных деталей из металлических порошков жаропрочных сплавов отечественного производства:

- использование материалов отечественного производства;
- совершенствование конструктивных особенностей деталей, реализация которых традиционными методами невозможна (изготовление колеса турбины заедина с валом);
- отсутствие поддерживающих структур, характерных для аддитивных технологий;
- исключение поверхностных и внутренних литейных дефектов;
- повышение механических свойств материала за счет повышенной однородности структуры и изотропности свойств материала;
- повышение эксплуатационных характеристик детали на 25%;
- повышение надежности детали, а, следовательно, и турбонасосного агрегата (ТНА), и двигателя в целом вследствие изготовления колеса турбины заедина с валом.



Рис. 1 Внешний вид детали после мех. обработки

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логачева А.И. Аддитивные технологии для изделий ракетно-космической техники: перспективы и проблемы применения // Технология легких сплавов. 2015. – № 3, – С. 39-45
2. Береснев А.Г. Влияние горячего изостатического прессования на структуру и свойства литых поликристаллических лопаток газотурбинных двигателей из жаропрочных никелевых сплавов // Металлы. – 2012, – №3 – С. 48-56.
3. Воронежский Е.В., Кожемякин Л.И, Новиков В.И. О проблемах применения высокопрочных сплавов в крыльчатке насоса окислителя ЖРД. // Труды НПО Энергомаш. – 2015. – С. 265-274.
4. Логунов А.В., Шмотин Ю.Н. Современные жаропрочные никелевые сплавы для дисковых газовых турбин. – М.: Наука и технологии, 2013. – 264 с.