



## АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Р.Н.Фасхутдинов, *fashutdinov-rn@avid.ru*,  
С.А.Червонных, ОАО "Авиадвигатель",  
Н.А.Труфанов, Пермский национальный исследова-  
тельский политехнический университет, Пермь

Аддитивные технологии позволяют создавать технические объекты облегченной конструкции с уникальными физико-механическими свойствами. Но нелинейная природа деформаций и разрушений ведет к необходимости создания иерархически организованных материалов. Сообщается о результатах разработки мезомасштабного и многоуровневого моделирования процесса селективного лазерного сплавления (SLM) изделий, устойчивых к циклическим термоударным нагрузкам.

**С**нижение веса газотурбинного двигателя (ГТД) направлено на экономию топлива и снижение вредных выбросов при эксплуатации будущих изделий. Одной из основных задач, решаемых в аэрокосмической промышленности, является проектирование деталей ГТД с меньшей массой при сохранении их функциональности и физико-механических свойств. Современное программное обеспечение позволяет оптимизировать геометрию детали, что приводит к эффективному сокращению ее массы [1]. Но использовать методы оптимизации в традиционном производстве ГТД иногда нецелесообразно. Причина в том, что создание изделий сложной геометрии требует больших трудозатрат и материальных вложений.

Технология селективного лазерного сплавления (Selective Laser Melting, SLM) позволяет получить сложную конструкцию за один этап, а многосложность конструктивных элементов не влияет на себестоимость изделия [2-4]. При этом производство изделий, спроектированных для изготовления по "традиционной" технологии, снижает эффективность применения аддитивных методов из-за завышенного использования материала. Получается, что облегченные детали не только улучшают характеристики ГТД, но и повышают производительность аддитивной технологии.

## ADDITIVE MANUFACTURING IN AERO ENGINE PRODUCTION

R.Faskhutdinov,  
S.Chervonnykh, *fashutdinov-rn@avid.ru*,  
Aviadvigatel OJSC,  
N.Trufanov,  
Perm National Research Polytechnic University

Additive technologies make it possible to create technical objects of lightweight design with unique physical and mechanical properties. But the non-linear nature of the deformation and destruction lead to the need to create hierarchically organized materials. This article presents the results of mesoscale modeling and multi-level process of selective laser melting (SLM) of products, having resistance to cyclic stress.

**R**eduction of gas turbine engine weight in aerospace industry helps saving fuel and reducing harmful emissions. One of the key goals in this industry is design of gas turbine engine components with reduced weight retaining their functional capabilities. The state-of-the-art software allows optimization of part geometry which leads to efficient weight reduction [1]. However, traditional manufacturing of optimized products is sometimes not worthwhile as you need to contribute a great deal of manpower and investment.

With Selective Laser Melting (SLM) technology a complex geometry can be achieved in one step and complexity of structural features design doesn't affect the product cost [2-4]. Besides, manufacturing of the products designed to be made with conventional methods makes the use of additive methods less effective because of higher material consumption. It appears that reduced weight parts do not only improve engine performance but increase efficiency of additive manufacturing.

In spite of declared advantages of additive manufacturing with SLM you encounter the same difficulties as with casting - deformation and residual stress. Capability of high precision layer-by-layer manufacturing of complex inner and outer geometry parts, the degree of such defects in the process of manufacturing the parts of modern aero engines require preliminary in-situ technological trials, selection of the specific part position in the setup, design of an additional supports system, selection of the manufacturing conditions to minimize the defects.

Несмотря на декларируемое преимущество аддитивных технологий, в SLM-технологии возникают те же трудности, что и в литейных процессах – коробление и остаточные напряжения. Высокоточное послойное производство деталей сложной внешней и внутренней геометрии, величина подобных дефектов при изготовлении современных деталей авиационных двигателей требует проведения предварительной натурной отработки технологии, выбора определенного расположения детали в установке, проектирования системы дополнительных поддержек, выбора технологического режима с целью минимизации дефектов.

Численное моделирование технологического SLM-процесса (рис.1) представляет значительный интерес и является потенциальным резервом повышения качества изделий, получаемых

The possibility of numerical simulation of the SLM-process (Fig.1) is of a particular interest; it is a potential reserve for improving the quality of additive manufacturing products and consequently provides the possibility to introduce technologies for making parts with most efficient geometry. Prediction of residual stress and deformation at mathematical models [5] in the process of manufacturing plays a great role for optimization of parts manufacturing conditions, development of supporting structures, minimizing defects and improving manufacturing quality of complex aero engine components.

Aviadvigatel has formed a working team focused on organization of additive manufacturing which pools the efforts of the specialists in various disciplines to develop a through cycle of reduced weight parts design for additive manufacturing.

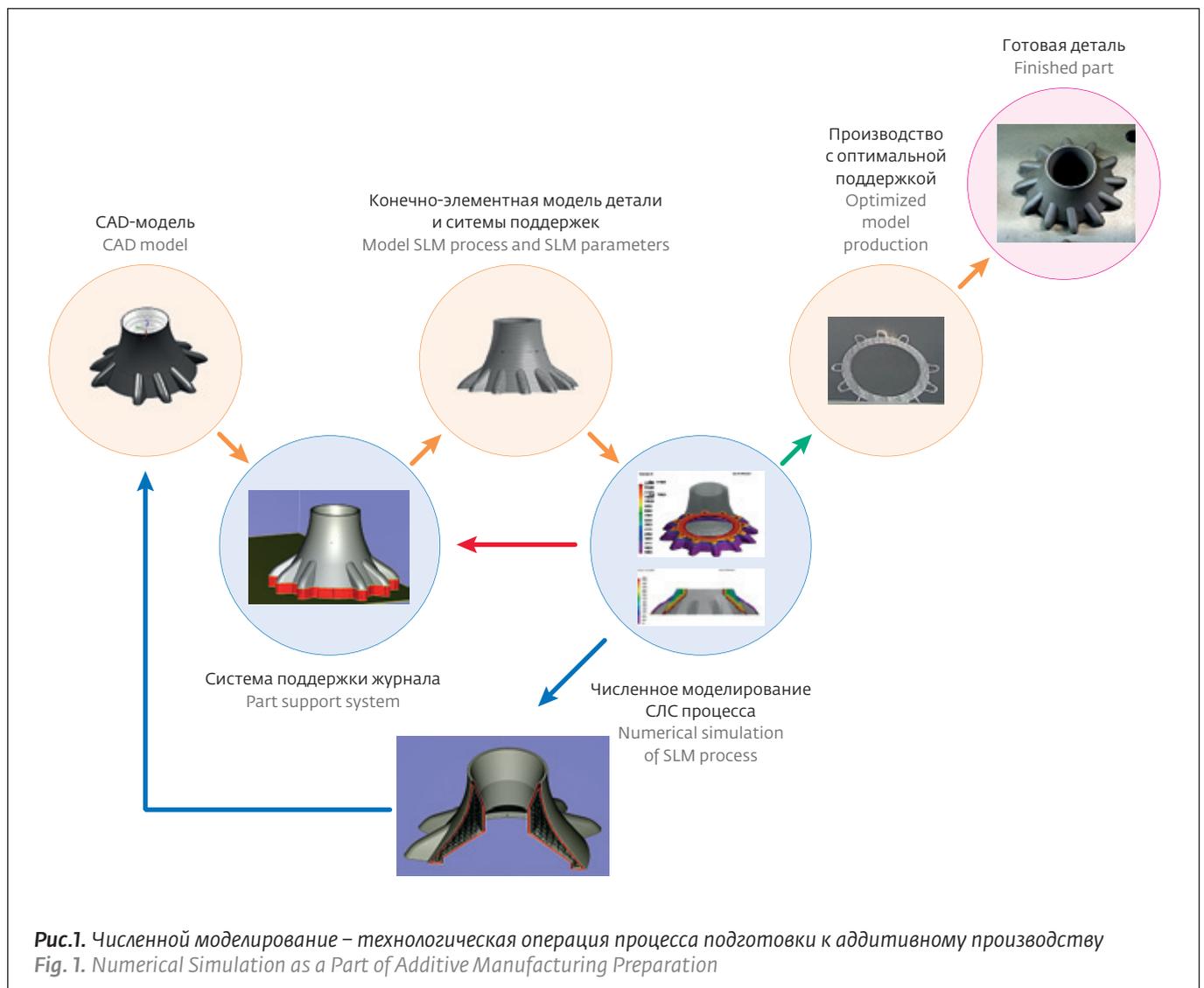


Рис.1. Численное моделирование – технологическая операция процесса подготовки к аддитивному производству  
 Fig. 1. Numerical Simulation as a Part of Additive Manufacturing Preparation



по аддитивным технологиям и, как следствие, возможностью внедрения технологии получения деталей с максимально эффективной геометрией. Прогнозирование на математических моделях остаточных напряжений и коробления [5] в процессе производства имеет огромное значение для оптимизации технологических режимов изготовления деталей, разработки опорных технологических конструкций (поддержек), минимизации дефектов и повышения качества изготовления сложных деталей авиационного двигателя.

Сегодня на ОАО "Авиадвигатель" создается рабочая группа по организации аддитивного производства, объединяющая усилия специалистов разных направлений в выработке сквозного цикла проектирования облегченных деталей.

Ведется разработка и внедрение новой, основанной на численном моделировании, методики технологической подготовки производства деталей газотурбинных двигателей для установок послыонного сплавления из металлических порошковых материалов, позволяющих проводить отработку технологического процесса на математических моделях.

Создаваемая цепочка аддитивного производства деталей позволит снизить массу двигателя минимум на 30%. Использование технологии селективного лазерного сплавления даст возможность сократить номенклатуру деталей и уменьшить количество технологических переходов при их производстве, то есть повысить надежность ГТД.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Bendsoe M.P., Sigmund O.** Topology Optimization: Theory, Methods and Application. 2-nd ed. – Berlin: Springer, 2003.
2. **Trimble S.** Additive manufacturing: Value added. GE Aviation is leading the way in the new world of additive manufacturing. – Flight International, 2013, v. 183, № 5393, p. 34–35.
3. **Ford S.** Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness. – Journal of International Commerce & Economics; September 2014, p. 1–35.
4. **Hoeverler P.** Gearing up on record time. – MTU Aero Engines Report, 2013, v. 1, p. 6–11.
5. **Ibiye A, Roberts et al.** Experimental and Numerical Analysis of Residual Stresses in Additive Layer Manufacturing by Laser Melting of Metal Powders. – Key Engineering Materials, 2011, v. 450, p. 461–465.

Development and introduction of new numerical simulation based methods of gas turbine engines production preparation for metal powder layer-by-layer melting machines is in process, this allows optimization of the manufacturing process at mathematical models.

The developed parts additive manufacturing chain will help reducing the engine weight by 30 %. Use of selective laser melting process will allow reducing parts nomenclature and the number of process steps during their manufacturing, i.e. increasing engine reliability.

---

## 3-Я ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ ПО ОПТОЭЛЕКТРОНИКЕ, ФОТОНИКЕ И НАНОСТРУКТУРАМ "SAINT PETERSBURG OPEN 2016" САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, 28–29 МАРТА 2016

---

Уважаемые коллеги!

От лица председателя Программного комитета "Saint Petersburg OPEN 2016" – Школы-конференции с международным участием по Оптоэлектронике, Фотонике и Наноструктурам лауреата Нобелевской премии, вице-президента Российской академии наук академика Жореса Ивановича Алфёрова приглашаем студентов, аспирантов и молодых ученых принять участие в её работе. Организационный взнос не предусмотрен. Все принятые тезисы будут опубликованы в конференционном сборнике. Расширенные тезисы принятых работ, по желанию авторов, будут опубликованы в журнале IOP Journal of Physics: Conference Series, цитируемом в Web of Knowledge.

Приглашенные докладчики

- Г.Э.Цырлин (Академический университет, Россия),
- В.М.Устинов (ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Россия),
- П.Г.Казанский (Университет Саутгемптона, Великобритания),
- Е.И.Теруков (ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Россия),
- Mircea Guina (Технологический университет Тампере, Финляндия),
- А.О.Голубок (Университет ИТМО, Россия),
- А.А.Липовский (Академический университет, Россия),
- М.В.Дубина (Академический университет, Россия),
- Л.В.Асрян (Политехнический университет Виргинии, США).

Школа-конференция проводится Санкт-Петербургским национальным исследовательским Академическим университетом Российской академии наук совместно с Санкт-Петербургским политехническим университетом имени Петра Великого при поддержке РФФИ, РНФ, SPIE, OSA, Санкт-Петербургского научного центра РАН.

<http://spbopen.spbaum.com>