

A.A. Syatchikhin, A.I. Smirnov

ASSESSMENT OF POSSIBILITY OF USING ADDITIVE TECHNOLOGIES IN ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY PRODUCTS MANUFACTURING

Alexey Syatchikhin – senior teacher, the Department of Rocket Building, D.F. Ustinov Baltic State Technical University «VOENMEH», St. Petersburg; **e-mail: 79214451769@yandex.ru.**

Alexander Smirnov – leading engineer, Malakhite Marine Engineering Bureau, St. Petersburg; **e-mail: iceman-sai@yandex.ru.**

We consider modern production methods based on additive technologies, the evaluation of the physical and mechanical properties of products obtained during the production in question. The features of the stress-strain state of the obtained samples are considered, an assessment of the change in strength relative to the basic physical and mechanical properties of the material is carried out.

Keywords: additive technology; powder material; laser sintering; DMLS; physical and mechanical properties; strength characteristics.

A.A. Сятчихин, А.И. Смирнов

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Алексей Александрович Сятчихин – старший преподаватель кафедры ракетостроения, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург; **e-mail: 79214451769@yandex.ru.**

Александр Игоревич Смирнов – ведущий инженер, АО «СПМБМ «Малахит», г. Санкт-Петербург; **e-mail: iceman-sai@yandex.ru.**

Исследуются современные методы производства на основе аддитивных технологий, оценка физико-механических свойств изделий, получаемых при таком производстве. Рассмотрены особенности напряженно-деформированного состояния полученных образцов, и проведена оценка изменения прочности относительно базовых физико-механических свойств материала.

Ключевые слова: аддитивная технология; порошковый материал; лазерное спекание; DMLS; физико-механические свойства; прочностные характеристики.

В современном мире всё больше отраслей рассматривают возможность применения аддитивных технологий взамен традиционным способам изготовления деталей и прототипов, что позволяет уменьшить время на подготовку серийного производства.

К основному минусу изготовления деталей методом аддитивной печати можно отнести высокую стоимость изготовления, также может потребоваться финиш-

ная постобработка изделий.

К неоспоримым плюсам можно отнести:

- возможность изготовления деталей любой сложности;
- создание целостных конструкций;
- высокую скорость подготовки производства и изготовления;
- высокую точность изготовления.

При рассмотрении плюсов аддитивных технологий возник вопрос о возмож-

ности применения аддитивных технологий для обеспечения серийного производства.

Наиболее перспективной и современной технологией является DMLS (Direct Metal Laser Sintering – прямое лазерное спекание), обеспечивающее наименьший перегрев металла в области печати, представленное на рис. 1.

В представленном методе используемый порошок смешивается с полимером, который является связкой и обеспечивает требуемую прочность для проведения последующей термической обработки.

В процессе лазерного спекания металлов используются сплавы или соединения с низкой температурой плавления. Получение различных изделий методом DMLS основано на затекании образовавшегося расплава-связки в пустоты между частицами под действием капиллярных сил. При этом для успешного выполнения процесса в порошковую смесь добавляют соединения с фосфором, которые снижают поверхностное натяжение, вязкость и степень окисления расплава, тем самым улучшая смачиваемость. Порошок, используемый в качестве связки, обычно имеет меньший размер, чем порошок основы, поскольку это позволяет увеличить насыпную плотность порошковой смеси и ускорить процесс образования расплава.

Как видно из вышесказанного, технология печати построена на спекании специально подготовленного порошка, из че-

го возникает вопрос взаимодействия между гранулами в расплаве и отсутствия образования несовершенств в готовом изделии, что в целом может повлиять на его физико-механические свойства, в частном случае свойства прочности.

Для рассмотрения и оценки изменения прочностных свойств изделия необходимо определить получаемые свойства при испытании образцов, изготовленных по аддитивной технологии, по ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 25.503-97. Так же при проведении испытаний необходимо принять во внимание направление печати, чтобы учесть возможность упрочнения для одного из направлений при следующих расположениях образца: продольного, поперечного и под углом 45°. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, свойства материалов, выполненных по аддитивным технологиям, отличаются от справочных в сторону уменьшения прочностных характеристик, что скажется на прочности изготовленных изделий по выбранной технологии.

Из табл. 1 можно сделать предположение, что при изготовлении деталей аддитивным методом они приобретают ортотропные свойства материала, но подтверждение этого предположения требует проведения проверки прочности на сдвиг, что не производилось в данной серии испытаний.

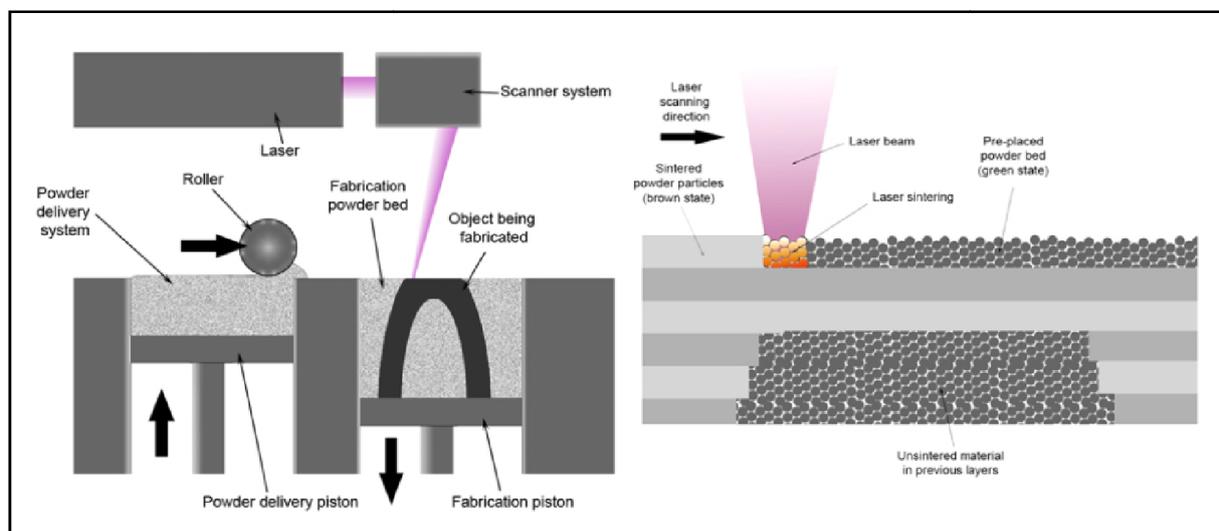


Рис. 1. Direct Metal Laser Sintering

Результаты испытаний

	ρ	E, ГПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	σ_{-1} , МПа	δ , %	μ
Справочные	2754	72	525	597	153	21	0,325
Эксперимент	2753	72	524,99	596,95	153,07	21,02	0,325
Отклонение от справочных значений %	-0,04	0	-0,01	-0,01	0,05	0,09	0
ANSYS	---	----	525.01	597.012	153.05	20.997	---
Отклонение от справочных значений %	---	---	0,01	0,002	0,03	-0,01	---
Продольная печать	2712	69,25	502,23	579,21	128,81	19,47	0,319
Отклонение от справочных значений %	-1,53	-3,82	-4,34	-2,98	-15,81	-7,29	-1,85
Поперечная печать	2726	70,62	508,78	580,64	132,32	19,79	0,321
Отклонение от справочных значений %	-1,02	-1,92	-3,09	-2,74	-13,52	-5,76	-1,23
Печать под углом 45°	2735	68,61	500,33	581,84	128,44	19,45	0,322
Отклонение от справочных значений %	-0,69	-4,71	-4,70	-2,54	-16,05	-7,38	-0,92

Также согласно результатам эксперимента видно, что наиболее приближенной к теоретическим свойствам является поперечная печать, что позволяет утверждать, что печать в поперечном направлении позволит изготовить более прочное изделие.

Приведенное изменение физико-механических свойств может оказать меньшее влияние на прочностные характеристики изделия, в частности на потерю устойчи-

вости при осевой сжимающей силе. Для проведения расчетов потери устойчивости возьмем стержень прямоугольного сечения со сторонами 0,02 м и 0,03 соответственно, длиной 1 м, закрепив согласно расчетной схеме, представленной на рис. 2. Данный стержень легко рассчитать через напряжения по формуле Эйлера, что позволит получить максимальную нагрузку начала потери устойчивости. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

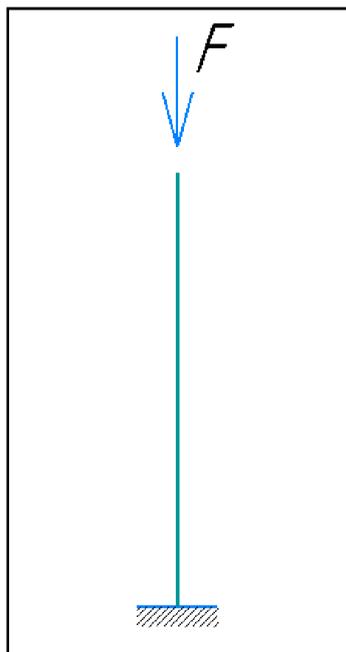


Рис. 2. Расчетная схема

Таблица 2

Результаты расчетов

	Аналитический расчет	ANSYS	Продольная печать	Поперечная печать	Печать под углом 45°
Сила, Н	3551,1	3551,1	3416,5	3484,2	3384,9
Отклонение от аналитического значения, %	-	0	-3,79	-1,88	-4,68

Как видно из результатов, приведенных в табл. 2, отклонения прочностных характеристик не превысили 5%, что не окажет сильного влияния на прочностные характеристики, но при этом не учтены возможные ортотропные свойства материала, что требует дополнительных исследований.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Применение аддитивных технологий при производстве ведет к ухудшению прочностных характеристик конструкции за счет изменения физико-механических свойств материала при печати.

2. Изменение прочностных характеристик не превышает 5%, что не окажет существенного влияния на конструкции, работающие по статическим нагружениям с высокими коэффициентами безопасности или запаса прочности, но требует особого внимания в конструкциях с малыми коэффициентами безопасности или запаса прочности, к которым относятся изделия ракетно-космической техники. При этом

влияние динамических или усталостных нагрузок не рассматривалось.

3. Применение топологической оптимизации может нивелировать потерю прочности за счет уменьшения массы конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безобразов Ю.А. Анализ структуры образцов, полученных DMLS- и SLM-методами быстрого прототипирования / Ю.А. Безобразов [и др.]. – Екатеринбург, 2012.

2. Ильин А.А. Опыт использования технологии прототипирования для изготовления деталей авиационных агрегатов / А.А. Ильин, С.В. Гаранин, В.В. Кошкин, А.А. Филатов // Литейное производство. – 2007. – № 6. – С. 39–41.

3. Сычев Е.А. Эффективность методов аддитивного формообразования деталей в машиностроении / Е.А. Сычев, А.А. Муравьев, А.С. Тарапанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. – № 2. – С. 102–106.