

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-565-574

EXPERIMENTAL WORKS ON APPLICATION OF THE METHOD OF DIRECT LASER GROWLING AT PRODUCTION OF DETAILS OF SHIP PIPELINE FITTINGS

V. V. Veselkov¹, G. A. Tyumentsev^{1, 2}, V. A. Kozlov^{1, 2}

¹— Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

²— Joint Stock Corporation “Shipbuilding & Shiprepair Technology Center”,
St. Petersburg, Russian Federation

In article the course and results of experimental works on application of one of a kind of additive technologies, a method of direct laser growling at production of a number of details of ship pipeline fittings are considered. Taking into account that traditional manufacturing techniques of a number of details of ship pipeline fittings are based on machining of cast or stamped preparations that leads to a long cycle and high cost of production of details, especially in case of single requirement as the method of direct laser growling as the way of production which is based on use of three-dimensional model of a product without the need for development of the additional equipment is offered to use an alternative. This method of production of details consists in consecutive layer-by-layer synthesizing of a body of a finished product at the expense of a supply of a stream of the inert transporting gas of metal powder in a zone of influence of a laser beam where under his influence the local area of liquid fusion is created. In article experimental works on assessment of a possibility of application of a method of direct laser growling are described and in particular are reflected: justification of the choice of a method of direct laser growling as preferable technology of additive production of details of ship pipeline fittings, definition of the directions for approbation of application of a method of direct laser growling, the volume and the sequence of work, the technique and results of a research of properties of the metal created by method of direct laser growling Are shown, the comparative analysis of its mechanical properties with mechanical properties of metal rolling is carried out and also work flow on production of prototypes of details and results of their tests is described.

Keywords: additive technologies, ship pipeline fittings, direct laser growling.

For citation:

Veselkov, Vyacheslav V., Grigoriy A. Tiumentsev, and Vitaliy A. Kozlov. “Experimental works on application of the method of direct laser growling at production of details of ship pipeline fittings.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.3 (2018): 565–574.
DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-565-574.

УДК 621.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СУДОВОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

В. В. Веселков¹, Г. А. Тюменцев^{1, 2}, В. А. Козлов^{1, 2}

¹— ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

²— АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье рассмотрены ход и результаты экспериментальных работ по применению одной из разновидностей аддитивных технологий — метода прямого лазерного выращивания при изготовлении ряда деталей судовой трубопроводной арматуры. С учетом того, что традиционные технологии изготовления ряда деталей судовой трубопроводной арматуры базируются на механической обработке литьих или штампованных заготовок, которая приводит к длительному циклу и высокой себестоимости изго-

тования деталей, особенно в случае единичной потребности, в качестве альтернативы предлагается использовать метод прямого лазерного выращивания как способ изготовления, базирующийся на использовании трехмерной модели изделия, без необходимости разработки дополнительной оснастки. Данный метод изготовления деталей заключается в последовательном послойном синтезировании тела готового изделия за счет подвода струи инертного транспортирующего газа металлического порошка в зону воздействия лазерного луча, где под его воздействием сформирована локальная область жидкого расплава. В статье описаны экспериментальные работы по оценке возможности применения метода прямого лазерного выращивания и в частности отражены следующие вопросы: обоснование выбора метода прямого лазерного выращивания как предпочтительной технологии аддитивного изготовления деталей судовой трубопроводной арматуры; определение направлений для апробации применения метода прямого лазерного выращивания; объем и последовательность проведения работ. Показаны методика и результаты исследования свойств металла, сформированного методом прямого лазерного выращивания, проведен сравнительный анализ его механических свойств с механическими свойствами металлопроката, а также описан ход работ по изготовлению опытных образцов деталей и результаты их испытаний.

Ключевые слова: аддитивные технологии, судовая трубопроводная арматура, прямое лазерное выращивание.

Для цитирования:

Веселков В. В. Экспериментальные работы по применению метода прямого лазерного выращивания при изготовлении деталей судовой трубопроводной арматуры / В. В. Веселков, Г. А. Тюменцев, В. А. Козлов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 3. — С. 565–574. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-565-574.

Введение (Introduction)

Судовая арматура — одна из важнейших составляющих систем судна, напрямую влияющая на их работоспособность. Из-за возросшего объема строительства новых судов и других объектов морской техники, на рынке возникла потребность в значительных объемах судовой трубопроводной арматуры (СТА). В связи с этим четко прослеживается тенденция необходимости освоения новых инновационных технологий и способов производства для повышения конкурентоспособности и эффективности предприятия. Значительная часть номенклатуры деталей СТА изготавливается с использованием традиционных технологий, основанных на механической обработке литьих или штампованных заготовок, что приводит к необходимости конструирования и изготовления дорогостоящей оснастки с помощью увеличения себестоимости изделий и сроков их изготовления, особенно в случае изготовления небольшой партии или единичных экземпляров деталей. Таким образом, в современном арматурном производстве существует необходимость внедрения новых способов изготовления деталей, основанных на применении современных ресурсосберегающих технологий с минимальным уровнем последующей механической обработки. Одним из таких направлений являются *аддитивные технологии*. Принципиально их можно разделить на семь видов: струйное нанесение материала (Material Jetting), струйное нанесение связующего вещества (Binder Jetting), листовая ламинация (Sheet Lamination), фотополимеризация в ванне (Vat Photopolymerization), синтез на подложке (Powder Bed Fusion), прямой подвод энергии и материала (Directed Energy Deposition), послойное нанесение расплавленного материала через экструдер (Material Extrusion) [1]. Первые пять технологий ориентированы на изготовление изделий из полимерных материалов, при этом они могут активно использоваться как для изготовления макетов и функциональных прототипов при проектировании изделий [2], [3], так и качестве вспомогательной оснастки, к примеру — в литейном производстве [4], [5]. Для изготовления изделий из металла распространение получили два направления аддитивных технологий: Powder Bed Fusion и Direct Energy Deposition.

Подход к изготовлению детали с помощью технологии Powder Bed Fusion (рис. 1) основан на выборочном спекании или сплавлении части слоя порошка с текущим сечением детали. После формирования слоя, платформа с порошком опускается на величину, равную толщине слоя порошка, специальный механизм засыпает новый слой порошка, после чего процесс выборочного

спекания / сплавления повторяется [6]. Процесс повторяется до момента полного формирования тела детали. По окончании процесса деталь извлекается из камеры, а оставшийся порошок после определенных подготовительных процедур можно использовать повторно.

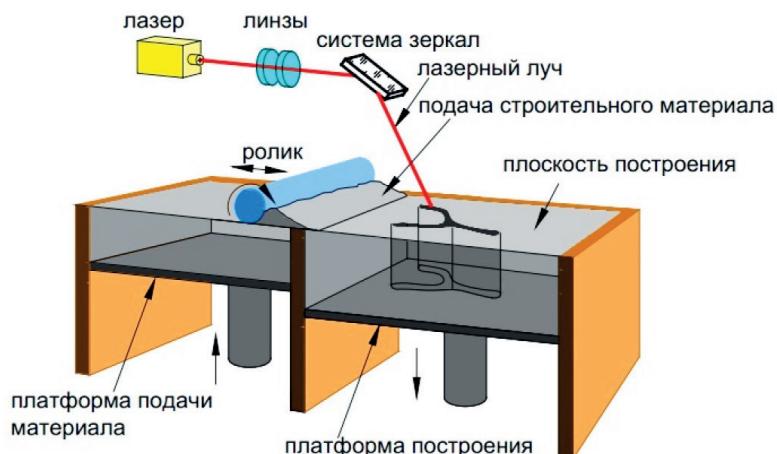


Рис. 1. Схема создания объекта по технологии Powder Bed Fusion

Технология Direct Energy Deposition (рис. 2) заключается в подводе исходного материала (металлического порошка) и энергии (лазерного луча) непосредственно в точку синтезирования тела готового изделия. Механизм формирования следующий: под воздействием лазерного луча происходит оплавление зоны формируемого изделия, в результате чего образуется локальная область жидкого расплава. В зону расплава струей инертного транспортирующего газа вдувается порция металлического порошка. Причем газопорошковая струя может быть как коаксиальной, так и не-коаксиальной сфокусированному лазерному лучу, который обеспечивает нагрев, частичное плавление порошка и подогрев подложки [7]. В России за данной технологией закрепилось название «Метод прямого лазерного выращивания» (метод ПЛВ).

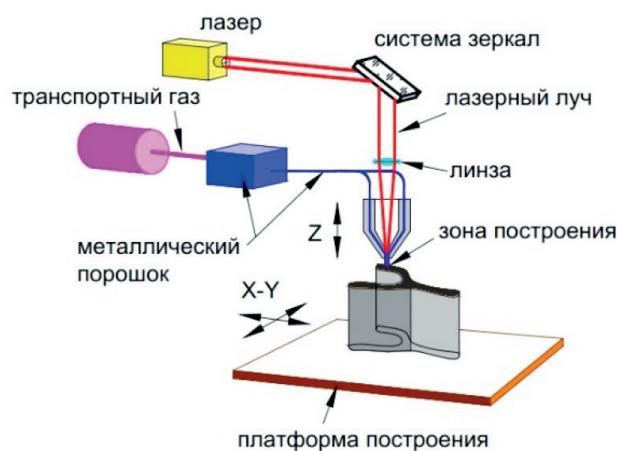


Рис. 2. Схема создания объекта по технологии Direct Energy Deposition

В России в настоящее время активно ведутся работы по исследованию и оптимизации технологий класса Powder Bed Fusion [8] – [10] (селективное лазерное спекание и селективное лазерное сплавление), но для изготовления деталей судовой трубопроводной арматуры предпочтительнее метод ПЛВ ввиду следующих причин:

- он позволяет формировать структуры уже на готовом основании, что дает возможность осуществлять выращивание отдельных конструктивных элементов и выполнение наплавки [11], и, соответственно, существенно расширяет возможности его применения;

– сменой порошка непосредственно в процессе изготовления можно получать отдельные элементы или поверхности детали с механическими и иными свойствами, отличными от свойств основного материала детали;

– для данного метода, в отличие от технологий класса Powder Bed Fusion, требуемая масса расходного материала (порошка) примерно равна массе полученной детали. В селективном методе технологии изготовления требует, чтобы при формировании сечения детали было полное заполнение порошком всей рабочей поверхности установки. После окончания процесса изготовления неиспользованный порошок можно применять повторно, но при этом для обеспечения возможности изготовления деталей в наличии должен быть какой-то неснижаемый остаток порошка, служащий для заполнения объема камеры построения;

– этот метод обладает большей производительностью.

Благодаря этому именно метод ПЛВ (как технология, обладающая большей универсальностью) был выбран для проведения данных исследований.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для аprobации возможности применения метода ПЛВ при изготовлении деталей СТА было определено два направления работ:

1) изготовление опытных образцов деталей СТА с проведением испытаний согласно предъявляемым конструкторской документацией требованиям;

2) изготовление образцов металла и проведение испытаний на определение его механических свойств.

В качестве опытных образцов были выбраны детали клапана запорного, используемого в трубопроводных системах с проводимой средой «пар» давлением 5,4 МПа (54 кг/см²): корпус и тарелка. Изначально корпуса подобного типа изготавливались на основе использования заготовки, полученной штамповкой, на которой выполнялась наплавка уплотнительного поля с последующей окончательной механической обработкой в соответствии с требованиями конструкторской документации. Однако труднодоступность места наплавки уплотнительного поля привела к необходимости изменения технологической схемы изготовления корпусов данного типа. Процесс изготовления состоял из следующих операций: изготовление отдельно нижней части корпуса; выполнение наплавки уплотнительного поля сплавом, твердость которого превышает твердость основного материала детали; последующая приварка цилиндрической заготовки к основанию корпуса с наплавкой; проведение окончательной механической обработки. Наличие дополнительных технологических процессов существенно увеличивало трудоемкость изготовления детали.

В качестве второй детали, совместно с корпусом образующей запорный элемент клапана, была выбрана тарелка. Методом ПЛВ планировалось сформировать уплотнительное поле на заранее изготовленной заготовке. При формировании уплотнительного поля по традиционной технологии наплавки на поверхности заготовки необходимо выполнение дополнительной проточки под первоначальную наплавку валика, при формировании уплотнительного поля с применением метода ПЛВ наплавка формируется на ровной поверхности.

В качестве материала, из которого изготавливались образцы, использовались металлические порошки нержавеющей стали марки 316L (основной материал) и Stellite 6 (наплавка уплотнительного поля) производства *Castolin Eutectic*. Изготовление заготовок опытных образцов деталей методом ПЛВ выполнялось в Институте лазерных и сварочных технологий Санкт-Петербургского политехнического университета имени Петра Великого. Окончательная механическая обработка и испытания деталей осуществлялись комплексом арматурного производства АО «ЦТСС» КБ «Армас».

В процессе изготовления опытного образца корпуса методом ПЛВ использовалась схема, схожая с предусмотренной конструкторской документацией схемой последовательного изготовления отдельных частей корпуса: формирование нижней части корпуса, формирование уплотни-

тельного поля, формирование цилиндрической части корпуса, окончательная механическая обработка. Заготовка опытного образца корпуса представлена на рис. 3.



Рис. 3. Заготовка корпуса клапана запорного, сформированная методом ПЛВ

На рис. 4 представлена последовательность формирования уплотнительного поля опытного образца тарелки методом ПЛВ на заранее изготовленной заготовке.



Рис. 4. Последовательность формирования уплотнительного поля тарелки:
а — исходная заготовка-основание; б — процесс формирования;
в — заготовка тарелки до проведения окончательной механической обработки

По окончании изготовления заготовок опытных образцов деталей была произведена их окончательная механическая обработка (рис. 5). В процессе изготовления дефектов деталей выявлено не было. По окончании механической обработки корпус и тарелка успешно прошли все необходимые испытания, предусмотренные конструкторской документацией, включая проверку на плотность и прочность корпуса гидравлическим давлением 9,6 МПа (96 кг/см²), а также совместную проверку на герметичность узла затвора давлением 8,0 МПа (80 кг/см²).

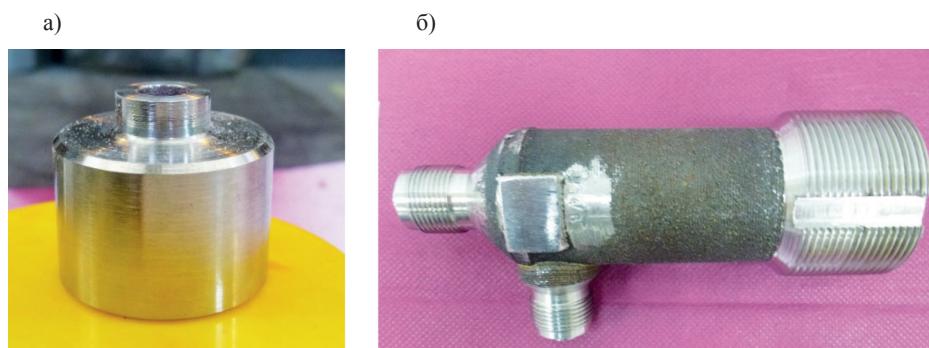


Рис. 5. Опытные образцы деталей клапана запорного после проведения механической обработки:
а — тарелка клапана запорного; б — корпус клапана запорного

Для определения механических свойств металла и оценки их анизотропии, методом ПЛВ была сформирована цельная плита, из которой путем нарезки на ленточной пиле были выполнены заготовки для следующих образцов (рис. 6):

- шесть образцов для испытаний на разрыв по ГОСТ 1497-84 (3 шт. типа А (маркировка II) и 3 шт. типа Б (маркировка I));
- шесть образцов для испытаний на ударный изгиб ГОСТ 9454-78 (3 шт. типа А (маркировка III) и 3 шт. типа Б (маркировка IV));
- один образец для проведения испытаний на склонность к межкристаллитной коррозии по методу АМУ ГОСТ 6032-84 и РД5.9256-76 с провоцирующим нагревом (диаметр 10 мм и длина 80 мм, маркировка V).

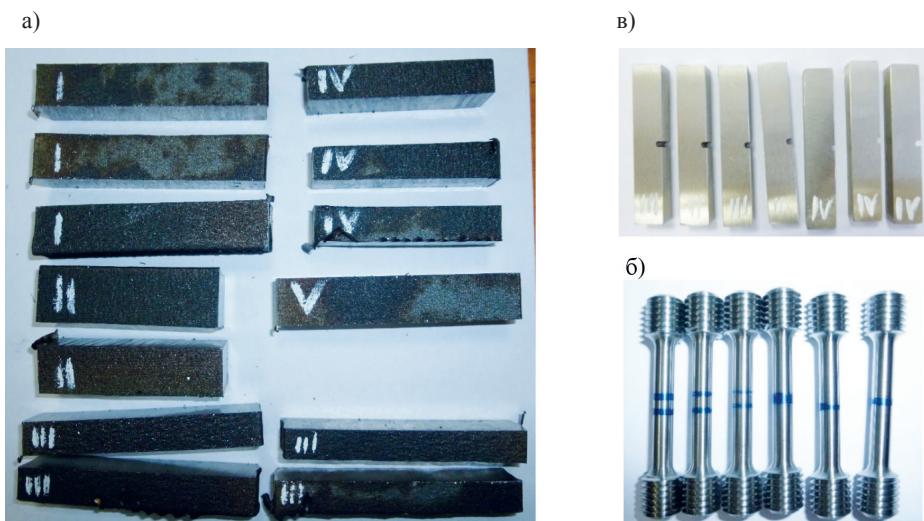


Рис. 6. Образцы для определения механических свойств образцов металла:
 а — образцы, нарезанные ленточной пилой из цельной заготовки;
 б — образцы для испытаний на ударный изгиб; в — образцы для испытаний на разрыв

Образцы типа А (маркировка II и III) изготавливались так, чтобы в процессе испытаний направление воздействующего фактора (разрывного или ударного усилия) было перпендикулярно направлению выращивания. Образцы типа Б (маркировка I и IV) изготавливались так, чтобы в процессе испытаний направление воздействующего фактора было параллельно направлению выращивания. Пространственная ориентация образцов представлена на рис. 7. Режим изготовления (мощность лазерного излучения, диаметр лазерного луча в зоне обработки, скорость перемещения и т. д.) плиты идентичен режиму изготовления опытного образца корпуса.

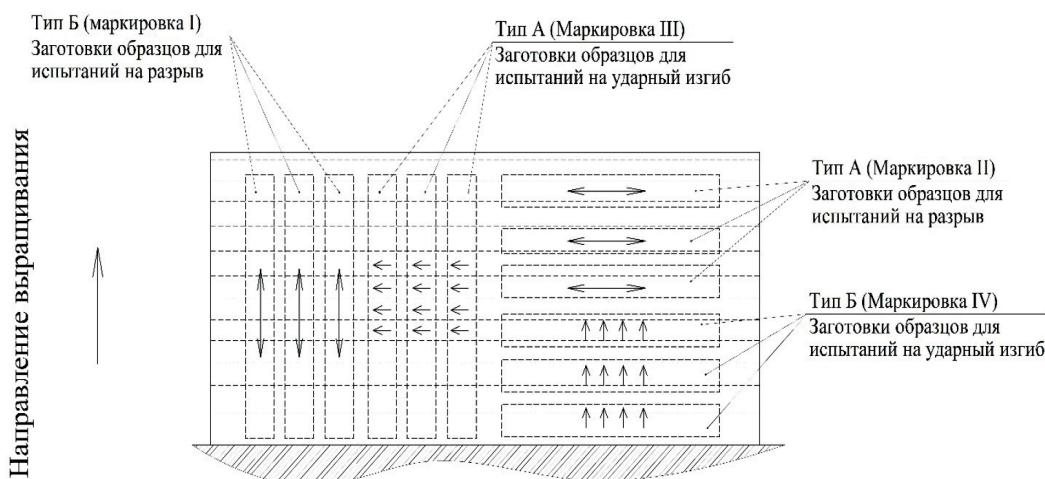


Рис. 7. Расположение образцов для определения механических свойств в заготовке

Результаты (Results)

Образцы для определения механических свойств были подвергены испытаниям на растяжение и удар при температуре окружающей среды +22 °C и относительной влажности 44 % в испытательной лаборатории НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей». На основании протоколов испытаний была составлена сводная таблица механических свойств образцов металла, сформированного методом ПЛВ (табл. 1 и 2).

Дополнительно, исходя из требований конструкторской документации на опытные образцы деталей, были проведены испытания на склонность материала, сформированного методом ПЛВ, к межкристаллитной коррозии по методу АМУ (ГОСТ 6032-84 «Стали и сплавы коррозионно-стойкие). Методы испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии» с провоцирующим нагревом. По итогам испытаний было установлено, что склонности материала к межкристаллитной коррозии не наблюдается, что соответствует предъявляемым требованиям.

Таблица 1

Результаты испытаний образцов на растяжение по ГОСТ 1497

Номер образца / маркировка	Модуль упругости Е, Н/мм ²	Временное сопротивление σ _в , Н/мм ²	Предел текучести σ _{0,2} , Н/мм ²	Предел текучести σ _{n0,5} , Н/мм ²	Относительное		
					удлинение δ ₅ , %	равномерное удлинение δ _p , %	сужение, Ψ, %
Среднее значение для (I)	217333	626	419,6	429,6	51,96	33,90	43,10
Среднее значение для (II)	146000	632	434	434,6	49,56	29,56	58,03

Таблица 2

Результаты испытаний образцов на удар по ГОСТ 9454

Маркировка	Работа удара, КУ	Ударная вязкость, КСУ
	Дж	Дж/см ²
Среднее значение для (III)	95,4	162,1
Среднее значение для (IV)	89,26	150,73

Обсуждение (Discussion)

Экспериментальное изготовление и последующие испытания опытных образцов деталей клапана запорного подтверждают возможность применения метода ПЛВ при изготовлении деталей СТА, в том числе состоящих из нескольких материалов. Для оценки свойств металла, полученного методом ПЛВ, необходимо произвести их сравнение со свойствами металла в традиционном состоянии поставки. В табл. 3 приведены механические свойства для металлопроката марки стали аналогичной марки порошка (AISI 316L). Оценка анизотропии свойств металла относительно двух взаимно перпендикулярных направлений представлена в табл. 4.

Таблица 3

Механические свойства стали AISI 316L

Состояние поставки	Предел прочности, МПа (min)	Предел текучести, МПа (min)	Относительное удлинение δ ₅ (min)	Относительное сужение, % (min)	Твердость, HB (max)
316L (hot-finished, condition A)*	485	170	40	50	—
316L (condition A, cold-finished, до 12,7 мм)*	620	310	30	40	—
316L (condition A, cold-finished, более 12,7 мм)*	485	170	30	40	—
316L **	485	170	40	—	217

Примечания: * — в соответствии с ASTM A276 [12], ** — в соответствии с ASTM 240 [13].

Таблица 4

Оценка анизотропии механических свойств

Параметры	Модуль упругости E	Временное сопротивление σ_v	Предел текучести $\sigma_{0,2}$	Предел текучести $\sigma_{n,0,5}$	Удлинение		Сужение Ψ	Работа удара KU	Ударная вязкость KCU
					относительное δ_s	равномерное δ_p			
Степень анизотропии, %	67	Менее 1	3,3	1,15	4,61	12,8	25,72	6,43	7

По большинству параметров анизотропия свойств не превышает 15 %, существенная анизотропия свойств присутствует только у параметров модуля упругости и относительного сужения. Причиной анизотропии данных значений может являться односторонность всех валиков металла, сформированных в процессе создания единой плиты-заготовки.

Выводы (Summary)

На основе результатов изготовления и испытаний опытных образцов деталей, сравнительного анализа механических свойств образцов металла, сформированного методом ПЛВ, и металла в привычном состоянии поставки, можно сделать следующие выводы.

1. Механические свойства (с учетом анизотропии в различных направлениях) образцов металла, полученного методом ПЛВ, отвечают требованиям, предъявляемым к механическим свойствам материала аналогичной марки в традиционных состояниях поставки. В целом, уровень механических свойств синтезированного металла находится на уровне свойств проката. Для выравнивания свойств металла можно применить подход построения, в котором направление валиков в каждом следующем слое будет отличаться от предыдущего, с повторением через определенное количество слоев.

2. Технология изготовления опытного образца корпуса подтвердила возможность (благодаря смене порошка непосредственно в процессе изготовления) формировать отдельные конструктивные элементы из материалов, отличных от основного материала детали, что делает данную технологию привлекательной для применения в изготовлении деталей СТА.

В заключение следует отметить, что для широкого внедрения данной технологии потребуется выполнить комплекс дальнейших исследований как в части оптимизации режимов изготовления для обеспечения требуемых свойств формируемого металла, так и в части отработки технологии изготовления готовых деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 57558-2017. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Ч. 1. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2017. — 12 с.
2. Bregman A. Аддитивное производство — прорыв в арматуростроении? / A. Bregman, K. Kunkel // Арматуростроение. — 2015. — № 3 (96). — С. 68–75.
3. Саженков А. Н. Экспериментальный стенд для исследования аэродинамических характеристик лопаток газовых турбин / А. Н. Саженков, Н. Ю. Самохвалов, М. Н. Соловьев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. — 2015. — № 2 (41). — С. 41–58. DOI: 10.15593/2224-9982/2015.41.02.
4. Балыкин А. В. Применение аддитивных технологий для создания деталей камеры сгорания / А. В. Балыкин, В. Г. Смелов, Л. А. Чемпинский // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. — 2012. — № 3-2 (34). — С. 47–52.
5. Лунев А. С. Внедрение аддитивных технологий в литейном производстве авиационной компании «Прогресс» / А. С. Лунев, Д. В. Бушуев, Ю. Ю. Горб, Н. А. Батина // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. — 2016. — № 3 (28). — С. 99–105.

6. Галимова Л. А. Структура и механические свойства образцов из нержавеющей стали, полученных методом селективного спекания / Л. А. Галимова, В. В. Атрощенко, В. В. Смирнов [и др.] // Вестник башкирского университета. — 2016. — Т. 21. — № 2. — С. 258–263.

7. Турчин Г. А. Технологические основы высокоскоростного прямого лазерного выращивания изделий методом гетерофазной порошковой металлургии / Г. Турчин, О. Климова, Е. Земляков [и др.] // Фотоника. — 2015. — № 4 (52). — С. 68–83.

8. Сухов Д. И. Влияние параметров селективного лазерного сплавления на образование пористости в синтезированном материале коррозионностойкой стали / Д. И. Сухов, П. Б. Мазалов, С. В. Нерущ, Н. А. Ходырев // Труды ВИАМ. — 2017. — № 8 (56). — С. 4. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-8-4-4.

9. Рябов Д. К. Изменение структуры сплава АК9Ч, полученного селективным лазерным спеканием, в процессе термической обработки / Д. К. Рябов, Д. В. Зайцев, Н. В. Дынин, А. О. Иванова // Труды ВИАМ. — 2016. — № 9 (45). — С. 3. DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-9-3-3.

10. Сотов А. В. Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления деталей ГТД методом селективного лазерного сплавления порошка жаропрочного сплава ВВ751П / А. В. Сотов, Н. Д. Проничев, В. Г. Смелов [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. — 2017. — Т. 19. — № 4-1. — С. 96–104.

11. Корсмик Р. С. Лазерная порошковая восстановительная наплавка лопаток газотурбинного двигателя / Р. С. Корсмик, Г. А. Турчин, О. Г. Климова-Корсмик [и др.] // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. — 2016. — Т. 15. — № 3. — С. 60–69. DOI: 10.18287/2541-7533-2016-15-3-60-69.

12. ASTM A276 / A276M – 17. Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes. — ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. DOI: 10.1520/A0276_A0276M-17.

13. ASTM A240/A240M-2017. Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications. — ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. DOI: 10.1520/A0240_A0240M-17.

REFERENCES

1. Russian Federation. State Standard GOST 57558-2017 (ISO/ASTM 52900:2015). Additive manufacturing. General principles. Terminology, IDT. M.: Standartinform, 2017.
2. Bregman, A., and K. Kunkel. “Additivnoe proizvodstvo-proryv v armaturostroenii?” *Armaturostroenie* 3(96) (2015): 68–75.
3. Sazhenkov, A.N., N.Yu. Samokhvalov, and M.N. Solovyev. “Test facility for gas turbine airfoils aerodynamic study.” *PNRPU Aerospace Engineering Bulletin* 2(41) (2015): 41–58. DOI: 10.15593/2224-9982/2015.41.02.
4. Balaykin, Andrey Vladimirovich, Vitaly Gennadievich Smelov, and Leonid Andreevich Chempinskiy. “Additive technology application details of combustion.” *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering* 3-2(34) (2012): 47–52.
5. Lunev, Anatoliy, Dmitriy Bushuev, Yuriy Gorb, and Nadezhda Batina. “The introduction of additive technology for foundry production in the Aviation Company Progress.” *The Far Eastern Federal University: School of Engineering Bulletin* 3(28) (2016): 99–105.
6. Galimova, L.A., V.V. Atrochenko, V.V. Smirnov, A.A. Churakova, D.V. Gunderov, and G.I. Zamanova. “Structure and properties of stainless steel specimens received by method of selective sintering.” *Bulletin of Bashkir University* 21.2 (2016): 258–263.
7. Turchin, G., O. Klimova, E. Zemlyakov, K. Babkin, V. Somonov, F. Shamray, A. Travianov, and P. Petrovskiy. “Technological Basis of High-Speed Direct Laser Growth of products by Heterophase Powder Metallurgy Method.” *Photonics* 4(52) (2015): 68–83.
8. Sukhov, D.I., P.B. Mazalov, S.V. Nerush, and N.A. Khodirev. “The influence of SLS parameters on pores formation in stainless steel material.” *Trudy VIAM* 8(56) (2017): 4. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-8-4-4.
9. Ryabov, D.K., D.V. Zaytsev, N.V. Dinin, and A.O. Ivanova. “Alternation of structure of selective laser melted aluminum alloy AK9ch during heat treatment.” *Trudy VIAM* 9(45) (2016): 3. DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-9-3-3.
10. Sotov, Anton, Nikolai Pronichev, Vitaly Smelov, Valery Bogdanovich, Mihail Giorbelidze, and Anton Agapovichev. “Development algorithm of the technological process of manufacturing gas turbine parts by selective laser melting.” *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* 19.4-1 (2017): 96–104.

11. Korsmik, R.S., G.A. Turichin, O.G. Klimova-Korsmik, E.V. Zemlyakov, and K.D. Babkin. "Laser powder weld reconditioning of gas turbine engine blades." *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering* 15.3 (2016): 60–69. DOI: 10.18287/2541-7533-2016-15-3-60-69.
12. ASTM A276 / A276M – 17. Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. DOI: 10.1520/A0276_A0276M-17.
13. ASTM A240/A240M-2017. Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. DOI: 10.1520/A0240_A0240M-17.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Веселков Вячеслав Васильевич —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: VeselkovVV@gumrf.ru

Тюменцев Григорий Александрович —
аспирант, инженер-конструктор 1 категории
Научный руководитель:
Веселков Вячеслав Васильевич
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
АО «Центр технологии судостроения
и судоремонта»
198095, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Промышленная, 7
e-mail: 3903@sstc.spb.ru,
kaf_shipbuilding@gumrf.ru

Козлов Виталий Александрович —
аспирант, инженер-конструктор 3 категории
Научный руководитель:
Веселков Вячеслав Васильевич
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
АО «Центр технологии судостроения
и судоремонта»
198095, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Промышленная, 7
e-mail: 3903@sstc.spb.ru,
kaf_shipbuilding@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Veselkov, Vyacheslav V. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg
198035, Russian Federation
e-mail: VeselkovVV@gumrf.ru

Tumentsev, Grigoriy A. —
Postgraduate, engineer
Supervisor:
Veselkov, Vyacheslav V.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg
198035, Russian Federation
JSC “Shipbuilding & Shiprepair
Technology Center”
7 Promyshlennaya Str., St. Petersburg,
198095, Russian Federation
e-mail: 3903@sstc.spb.ru,
kaf_shipbuilding@gumrf.ru

Kozlov, Vitaliy A. —
Postgraduate, engineer
Supervisor:
Veselkov, Vyacheslav V.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg
198035, Russian Federation
JSC “Shipbuilding & Shiprepair
Technology Center”
7 Promyshlennaya Str., St. Petersburg,
198095, Russian Federation
e-mail: 3903@sstc.spb.ru,
kaf_shipbuilding@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 12 апреля 2018 г.

Received: April 12, 2018.