

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ НА ГИДРОДИНАМИКУ И ТЕПЛООТДАЧУ ТРАКТА ОХЛАЖДЕНИЯ ЖРД ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ SLM – ПЕЧАТИ

Манохина Э.С., Иванов А.С., Зуев А.А.

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
г. Красноярск, manohina_es@sibsau.ru

Ключевые слова: тракт охлаждения, аддитивное производство, селективное лазерное сплавление, пограничный слой, шероховатость поверхности.

Повышение эффективности жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) неразрывно связано с интенсификацией процессов охлаждения в критических по тепловым нагрузкам элементах, таких как камеры сгорания и сопла. Аддитивные технологии (Additive Manufacturing, AM), в частности селективное лазерное сплавление (SLM), позволяют создавать тракты охлаждения со сложными внутренними каналами и интенсификаторами теплообмена. Однако формируемый при этом микрорельеф поверхности оказывает существенное влияние на гидродинамическое сопротивление и теплоотдачу, что не всегда учитывается в существующих методиках проектирования.

Рассматриваются экспериментальные участки для дальнейшего оценивания влияния шероховатости поверхностей, характерной для аддитивного производства путем постановки натурного эксперимента, по формированию динамического пограничного слоя в условиях, моделирующих течения в каналах охлаждения ЖРД [1-2].

Изготовлены образцы-пластины из алюминиевого сплава $AlSi10Mg$ методом SLM: с контролируемой шероховатостью и интенсификаторами потока.

Ключевыми объектами исследования являлись следующие сменные пластины:

1. Гидравлически гладкая пластина (необходима для сравнительного анализа полученных экспериментальных и теоретических данных).
2. Шероховатые пластины, изготовленные из сплава $AlSi10Mg$. Особенностью изготовления была искусственно созданная разная шероховатость на лицевой (сторона 1) и тыльной (сторона 2) сторонах.
3. Пластина с интенсификаторами потока, также изготовленная методом SLM.

Контроль шероховатости поверхности пластин проводился профилометром TR 110. Измерения параметров Ra и Rz проводились в поперечном направлении с шагом 30,4 мм по всей длине пластины. Результаты измерений представлены в табл. 1 и на рис. 1-3, а усредненные значения – в табл. 2.

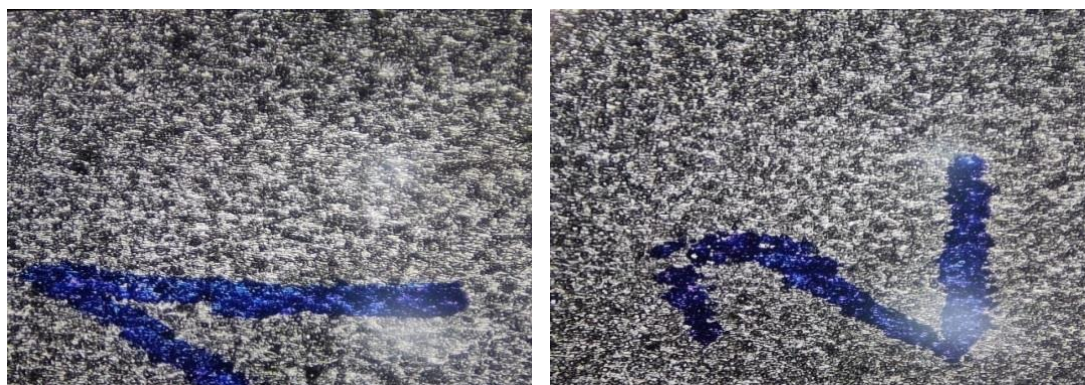


Рис. 1 – 1 и 2 сторона шероховатой пластины при 50-кратном увеличении



Рис. 2 – Шероховатая пластина с интенсификаторами при 50-кратном увеличении

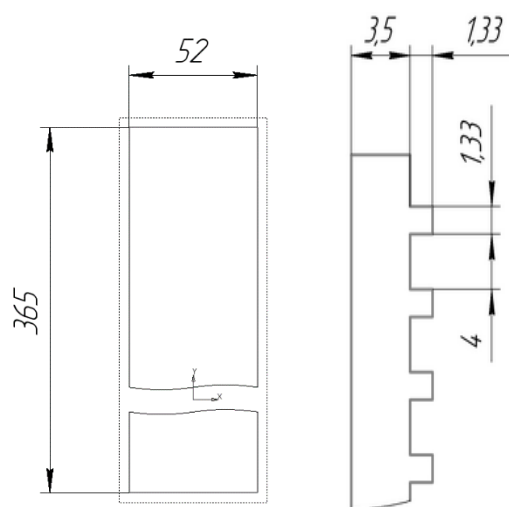


Рис. 3 – Геометрические параметры пластин

Таблица 1 – Результаты измерения шероховатости на пластинах

L , мм	Пластина шероховатая, 1 сторона		Пластина шероховатая, 2 сторона		Пластина с интенсифи- каторами	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
30,42	1,67	5,92	5,91	28,2	9,43	42,1
60,83	0,19	1,47	7,93	24,7	0,66	3,27
91,25	5,89	18,96	3,5	17,72	4,59	23,2
121,66	1,39	8,21	2,56	9,46	6,46	27,8
152,08	2,16	10,3	7,89	25	1,58	8,69
182,5	2,75	7,48	7,68	23,6	3,68	16,17
212,91	2,17	8,15	4,21	17,76	7,1	30,3
243,33	4,61	12,53	4,06	15,18	4,21	15,69
273,75	1,14	6,45	5,11	19,11	0,95	4,2
304,16	3,21	15,52	6,22	21,6	3,59	7,44
334,58	1,48	7,91	4,05	15,35	0,19	0,99

Таблица 2 – Средние значения шероховатости

Шероховатая пластина, 1 сторона		Шероховатая пластина, 2 сторона		Шероховатая пластина с интенсификаторами	
Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
7,58	23,59	4,22	15,17	3,78	16,18

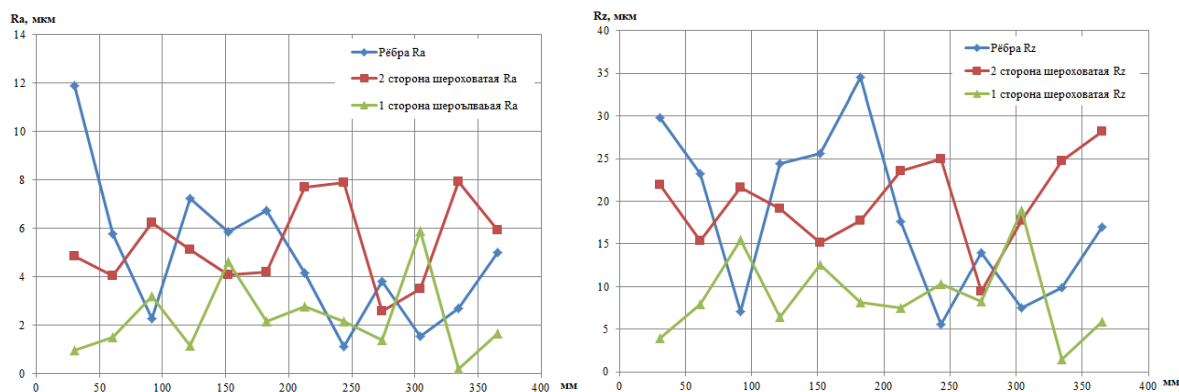


Рис. 4 – Шероховатость по длине пластины, измеряемая по R_a и по R_z

Таким образом, представлены экспериментальные участки для проведения эксперимента по формированию динамического пограничного слоя с учетом влияния искусственной шероховатости, произведена профилометрия участков.

Список литературы

1. Слободкина Ф. А. Прикладная газовая динамика. Ч. 1. Критерии отрыва пограничного слоя. – М. : РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 291 с.
2. Hermann Schlichting, Klaus Gersten. – Springer. 2017. – 805 p.

Сведения об авторах

Манохина Эльвира Сергеевна – аспирант кафедры двигателей летательных аппаратов; СибГУ им. ак. М. Ф. Решетнева, область научных интересов: аддитивные технологии, тепловые процессы ЖРД.

Иванов Александр Сергеевич – студент аспирант кафедры двигателей летательных аппаратов; СибГУ им. ак. М. Ф. Решетнева, область научных интересов: аддитивные технологии, тепловые процессы ЖРД.

Зуев Александр Александрович – заведующий кафедрой двигателей летательных аппаратов; СибГУ им. ак. М. Ф. Решетнева, область научных интересов: аддитивные технологии, тепловые процессы ЖРД.

EXPERIMENTAL SAMPLES FOR STUDYING THE EFFECT OF ROUGHNESS ON THE HYDRODYNAMICS AND HEAT TRANSFER OF THE LIQUID PROPELLANT COOLING PATH PRODUCED BY SLM PRINTING

Manokhina E.S., Ivanov A.S., Zuev A.A.

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

Krasnoyarsk, manohina_es@sibsau.ru

Keywords: cooling path, additive manufacturing, selective laser fusion, boundary layer, surface roughness.

Experimental plots for conducting an experiment on the formation of a dynamic boundary layer are presented, taking into account the influence of artificial roughness, and profilometry of the plots is performed.