

4. В деталях станков преобладают МП, образованные сочетаниями поверхностей простой геометрической формы, а доля МП, состоящих из поверхностей сложной геометрической формы незначительна.

#### Список литературы

1. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368с.
2. Базров Б.М., Сахаров А.В. Определение технологических возможностей станочного парка предприятия // Станкоинструмент. – 2016. – №2. – С. 29-34.

#### Сведения об авторе:

*Сахаров Александр Владимирович* – к.т.н., научный сотрудник лаборатории теории модульной технологии, ИМАШ РАН, г.Москва.

УДК 621.924.93

<https://doi.org/10.26160/2309-8864-2019-7-112-116>

## ГИДРОАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ТИТАНОВЫХ ОБРАЗЦОВ VT6, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЛС

*Балякин А.В., Гончаров Е.С.*

*Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С.П. Королева, г. Самара*

**Ключевые слова:** селективное лазерное сплавление, СЛС, аддитивное производство, титановый сплав, гидроабразивная обработка, абразивный наполнитель.

**Аннотация.** Рассматривается процесс гидроабразивной обработки титановых образцов VT6, влияние на процесс обработки различной концентрации абразива и времени обработки.

## TECHNOLOGICAL INHERITANCE IN THE PROCESS OF SELECTIVE LASER MELTING

*Goncharov E.S., Balyakin A.V.*

*Samara National Research University, Samara*

**Keywords:** selective laser melting, SLM, additive production, titanium alloy, waterjet processing, abrasive filler.

**Abstract.** The process of hydro-abrasive processing of VT6 titanium samples, the effect on the processing process of various concentrations of abrasive and processing time are considered.

В настоящий момент детали, полученные методами аддитивных технологий, используют все чаще, так как при помощи установки селективного лазерного сплавления (СЛС) можно получить необходимую деталь с минимальными затратами на подготовку производства [1, 2]. Но, несмотря на это, в большинстве случаев установки СЛС не могут вырастить деталь с необходимым качеством поверхностного слоя и в частности по шероховатости [3]. Из-за эффекта балинга (прилипание не расплавившихся частиц к поверхности заготовки) и особенностей выращивания, поверхности нуждаются в доработке [4]. В случае со сложной внутренней геометрией, обычные методы обработки не

подходят, поэтому возникает необходимость разработки и использования нового метода обработки. В данной статье рассматривается метод гидроабразивной обработки внутренних поверхностей (каналов и полостей).

Используемый в данной работе метод гидроабразивной обработки похож на метод струйной гидроабразивной обработки (ГАО), отличие заключается в отсутствии разгона струи воздухом, как следствие, скорость движения гидроабразива ниже и обработка идет внутри детали, сразу по всем внутренним поверхностям. Для ГАО в зависимости от высоты неровностей исходной поверхности, размеров лунок и борозд, оставляемых частицами абразива в обрабатываемом изделии, возможны три случая формирования микрорельефа [5].

1. Получаемая после обработки поверхность имеет шероховатость поверхности, превышающую исходную;
2. Шероховатость обрабатываемого изделия не меняется;
3. Формируемая шероховатость меньше исходной.

#### *Методика проведения эксперимента*

Для эксперимента были изготовлены цилиндрические образцы с использованием технологии СЛС, с размерами, указанными на рисунке 1. Выращивание осуществлялось на режиме: мощность лазерного излучения  $P=275\text{Вт}$ , скорость сканирования  $S=805\text{мм/с}$ . Для лучшего протекания теплообменных процессов, исключающих коробление образца вследствие его отрыва от платформы построения, к образцу был добавлен припуск, так называемый «жертвенный» слой. После выращивания, образцы вместе с платформой построения были подвергнуты термообработке в печи для снятия остаточных напряжений по следующему режиму: нагрев  $600^\circ\text{C}$  время 6 часов, выдержка 2 часа и охлаждение с печью 8 часов [6]. Затем образцы были отделены от платформы построения. Далее образцы были обработаны на токарном станке для удаления «жертвенного» слоя, производилось торцевание образцов в размер  $40_{-0,1}\text{мм}$ .

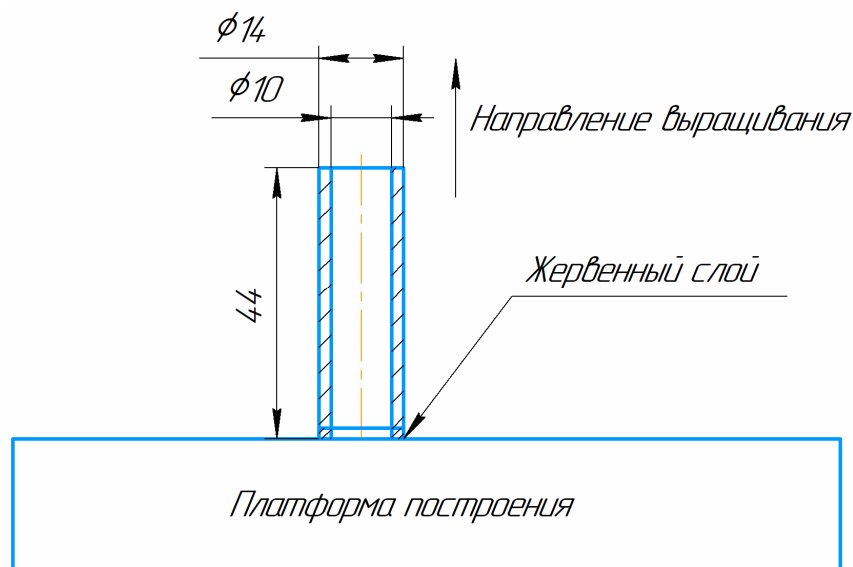


Рис. 1. Исходные размеры выращенных образцов

После отделения от платформы построения и торцевания образцы были взвешены на лабораторных весах САРТО ГОСМ ЛВ 210-А, данные взвешивания приведены в таблице 1. Была измерена шероховатость внутренней поверхности

образцов перпендикулярно трекам выращивания. Измерение шероховатости поверхности осуществлялось на автоматизированном профилометре-профилографе модели БВ-7669, данные по изменению шероховатости образцов приведены в таблице 2.

Табл. 1. Изменение массы образцов во время обработки

№ образца	Масса, мг				Суммарная разница
	до обработки	после 15 минут	после 30 минут	после 45 минут	
1	12615,0±0,4	-	12577,7±0,4	-	37,3
2	12653,8±0,4	12621,6±0,4	12616,8±0,4	12597,9±0,4	55,9
3	1266,6±0,4	12622,0±0,4	12601,4±0,4	12596,4±0,4	70,2
4	12653,6±0,4	12610,2±0,4	12597,2±0,4	12588,3±0,4	65,3
5	12622,5±0,4	12617,3±0,4	12615,9±0,4	-	6,6

Табл. 2. Изменение шероховатости образцов во время обработки

Номер образца и концентрация абразива	Время обработки							
	без обработки		15 минут		30 минут		45 минут	
	Ra, мкм	Rz, мкм	Ra, мкм	Rz, мкм	Ra, мкм	Rz, мкм	Ra, мкм	Rz, мкм
Образец 1 10%	5,60	42,30	3,62	29,38	3,29	26,20	-	-
Образец 2 15%	5,29	40,30	4,24	33,30	2,64	20,68	1,80	14,92
Образец 3 20%	5,25	40,00	2,37	19,40	1,03	10,29	1,20	10,88
Образец 4 25%	4,99	37,30	2,46	18,72	1,90	16,42	1,43	14,22
Образец 5 0%	4,78	36,80	4,26	31,50	4,12	29,98	-	-

В качестве рабочего носителя использовались деионизованная вода и в качестве абразивного наполнителя использовалось абразивное зерно из карбида кремния черного (54С) зернистостью F46. Образцы были обработаны в лабораторной установке гидроабразивной обработки, схема установки приведена на рисунке 2. Концентрация абразива составляла: 10, 15, 20 и 25% в массовом соотношении абразивного материала к деионизованной воде (образцы 1, 2, 3, 4). Контрольный образец №5 проходил испытания с прокачкой воды без абразива. Каждые 15 минут обработку останавливали для измерения массы и шероховатости образцов (рис. 3).

*Обрабатываемый образец*

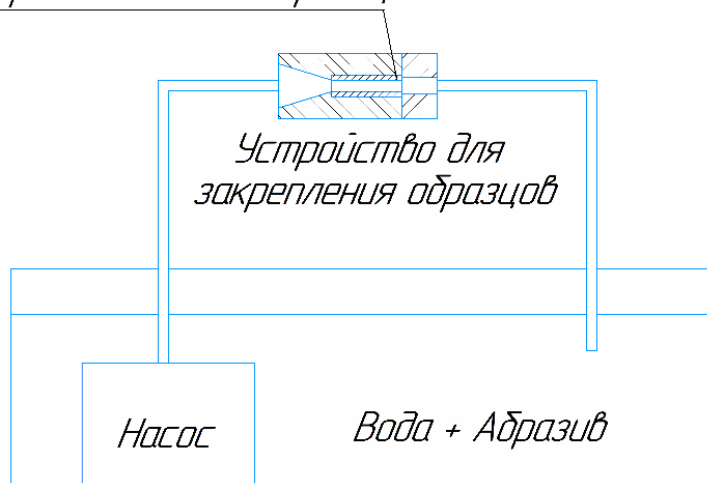


Рис. 2. Схема гидроабразивной установки

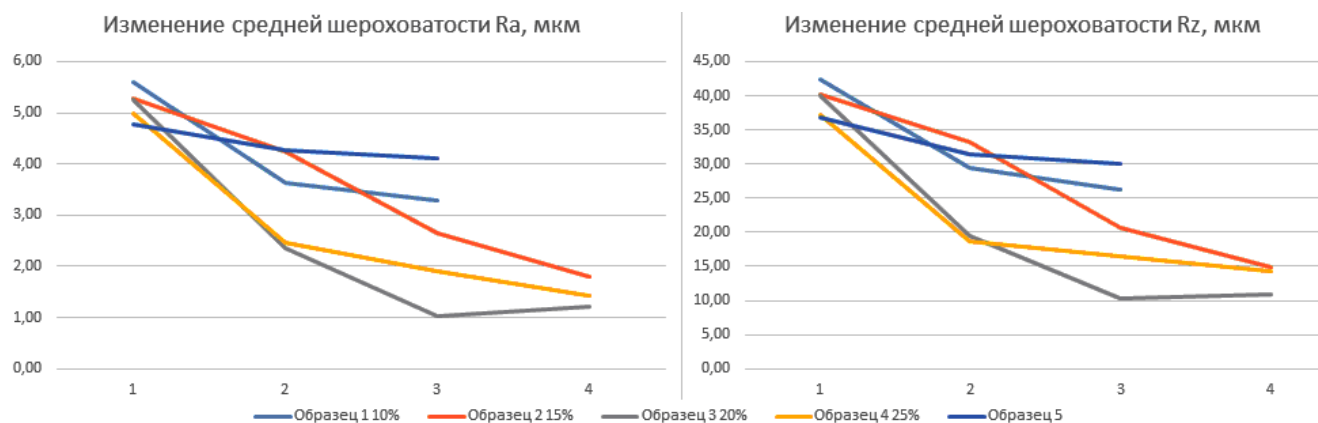


Рис. 3. График изменения шероховатости Ra и Rz образцов во время эксперимента

Как видно из графиков 1 и 2 наибольший съём материала с образца происходит в первые 15 минут обработки, это связано интенсивным съёмом с поверхности образца порошинок, образовавшихся из-за эффекта балинга. Данные частицы могут быть сбиты струей воды без абразива, но при этом износ поверхности будет идти медленнее (образец 5). Наилучший результат по шероховатости поверхности был получен при концентрации абразива в 20% на образце номер 3. Дальнейшее увеличение концентрации абразива, негативно сказывается на параметрах прокачивающего насоса. Данная обработка уменьшает шероховатость поверхности, но при этом огранка, появляющаяся из-за технологической наследственности на этапе создания модели будущей детали [7], не исчезает, а становится более заметной визуально.

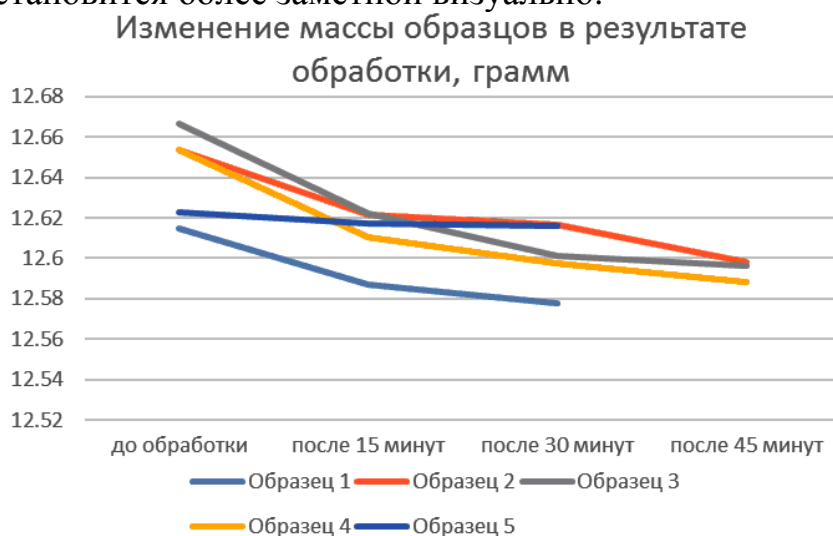


Рис. 4. График изменения массы образцов во время эксперимента

### Выводы

В результате данной работы была построена гидроабразивная установка, для внутренней прокачки изделий, во время работы установки была определена оптимальная концентрация абразива для данной установки. Максимальное снижение шероховатости и массы изделия, полученного на СЛС, происходило в первые 15 минут обработки из-за сбивания не сплавившихся частиц. Таким образом, гидроабразивная обработка может применяться для улучшения поверхностного слоя изделий, полученных методами СЛС.

Влияние зернистости абразива и уточнение оптимальной концентрации будет рассматриваться в следующих работах. Причины увеличения шероховатости и волнистости изделий на последних стадиях обработки так же рассматриваются и изучаются.

#### Список литературы

1. K. Kiss, J. Wolfe, G. Wilson, D. Abbott, W. Carter, GE jet engine bracket challenge. In [grabcad.com/challenges/ge-jet-engine-bracket-challenge](http://grabcad.com/challenges/ge-jet-engine-bracket-challenge).
2. Сотов А.В. Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления жаровых труб ГТД методом селективного лазерного сплавления: дис. ... канд. тех. наук 05.07.05 // Сотов Антон Владимирович. – Самара, 2017. – 219 с.
3. Anton Agarovichev, Anton Sotov, Victoria Kokareva, and Vitaly Smelov Possibilities and limitations of titanium alloy additive manufacturing // MATEC Web of Conferences 224, 01064 (2018) ICMTE 2018 <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822401064>.
4. Балякин А.В., Гончаров Е.С. Технологическая наследственность в процессе селективного лазерного сплавления // Молодежный Вестник УГАТУ. 2019. С. 38-42.
5. Мещеряков А.В., Шулупов А.П. Математическая модель процесса формирования микрорельефа поверхности при струйной гидроабразивной обработке // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т.15, №4. С. 235-242. DOI: 10.18287/2541-7533-2016-15-4-235-242.
6. Авиационные материалы: справочник: в 9 т. заслуж. деятель науки и техники РСФСР, член корр. АН СССР А.Т. Туманова; авиац. индустриальный СССР. Всесоюзный. Науч.-исслед. ин-т авиац. материальный. – 6-е изд., перераб. и добавить. Т. 5: сплавы магния и титана / научный ред. д-р техн. наук М.Б. Альтман, д-р техн. наук С.Г. Глазунов, д-р техн. наук С.И. Кишкина. – М.: ОНТИ, 1973. – 583 с.
7. Назаров А.П. Области применения технологии селективного лазерного спекания // Материалы всероссийской молодежной конференции «Инновационные технологии в машиностроении». Москва, 2011. С. 252-259.

#### Сведения об авторах

*Балякин Андрей Владимирович* – старший преподаватель кафедры ТПД, Самарский университет, г.Самара;

*Гончаров Евгений Станиславович* – магистрант Самарского университета, г.Самара.