

## ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ALSi10Mg, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ СЛС

Е. П. Злобин, А. И. Хаймович, А. В. Балякин

Самарский университет,  
Россия, 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34

Представлены результаты эксперимента, целью которого являлось изучение влияния вибрационной обработки на образцы различных размеров из сплава ALSi10Mg, полученных селективным лазерным сплавлением. В ходе исследования производился контроль изменения шероховатости и скругления острых кромок в зависимости от размера образцов и угла наклона стенки. Также было изучено формирование зон пониженного контакта и необработанных зон во время обработки. В результате эксперимента была достигнута минимальная шероховатость поверхности образцов Ra 1,2 мкм. Длина необработанных зон в зависимости от геометрии варьировалась в диапазоне от 0,5 мм до 6 мм. Скругление происходило наиболее эффективно в первые 4 часа обработки на кромках, образованных тупым углом. Полученные результаты позволяют лучше понять особенности вибрационной обработки изделий из алюминиевых сплавов и оптимизировать процесс для достижения требуемых характеристик поверхности. Таким образом, результаты исследования могут быть полезны для различных промышленных секторов, где используются алюминиевые сплавы, и могут способствовать дальнейшему развитию технологий обработки изделий, полученных с помощью технологии селективного лазерного сплавления.

**Ключевые слова:** постобработка, селективное лазерное сплавление, галтовка, вибрационная обработка, поверхностный слой.

Аддитивные технологии, также известные как 3D-печать, представляют собой процесс создания трехмерных изделий путем последовательного нанесения материала слой за слоем. В последнее время такие технологии всё чаще внедряются в современное производство различных машиностроительных предприятий. Обусловлено это тем, что с помощью 3D-печати возможно создавать сложные детали и объекты с высокой точностью за относительно короткое время. Это позволяет сократить время и затраты на проектирование и производство, а также ускорить цикл разработки новых продуктов. Но в то же время аддитивные технологии имеют некоторые ограничения. Среди прочего, одним из основных недостатков является качество поверхностного слоя, получаемое после печати.

Исследование процесса обработки алюминиевых сплавов является актуальной темой в связи с их широким применением в различных отраслях промышленности, таких как авиационная, автомобильная, ракетная, энергетическая и другие [1–3]. Как и в остальных случаях, изделия, получаемые из алюминиевых сплавов с помощью технологии селективного лазерного сплавления (СЛС), зачастую нуждаются в постобработке из-за высоких требований к качеству поверхностей.

Одним из эффективных методов снижения шероховатости является обработка свободным абразивом, в частности виброгалтовка [4]. Данная обработка позволяет осуществлять широкий спектр работ, таких как удаление дефектного слоя, окалина, ржавчины, заусенцев, скругление острых кромок.

С помощью её применения достигается повышение качества готовой продукции путем полировки поверхностей и доведение их до необходимых требований.

Выбор виброгалтовки для улучшения шероховатости поверхности изделий после селективного лазерного сплавления обусловлен следующими факторами:

— эффективность: виброгалтовка является высокоэффективным процессом, так как позволяет одновременно обрабатывать большое количество деталей, значительно сокращает время обработки и затраты на постобработку;

— качество обработки: виброгалтовка позволяет достичь высокого качества поверхности. Этот метод позволяет удалить дефектный слой после выщелачивания и значительно улучшить шероховатость (при финишном полировании до Ra 0,4 мкм);

— универсальность: виброгалтовка может использоваться для обработки различных материалов, включая различные виды металла и керамику. Это делает ее универсальным и гибким методом обработки поверхностей изделий;

— безопасность: в отличие от других методов, таких как лазерная, химическая, электрохимическая обработка, виброгалтовка не требует использования агрессивных химических веществ или высоких температур, что делает ее более безопасной для оператора и окружающей среды [5, 6].

Селективное лазерное сплавление обладает значительным потенциалом, поскольку позволяет создавать детали сложной геометрии, обладающей

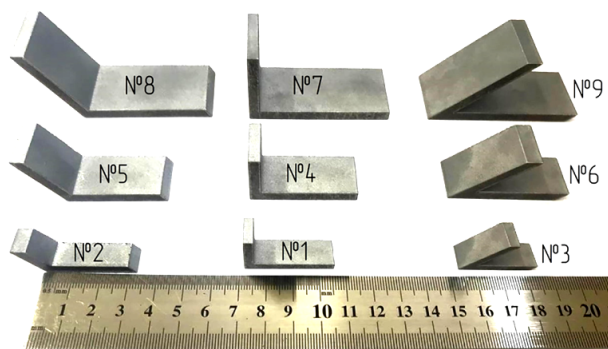


Рис. 1. Изготовленные образцы для проведения эксперимента  
Fig. 1. Printed samples for the experiment

труднодоступными местами [7–9]. Такие конструкционные элементы не во всех случаях удастся обработать виброгалтовкой, поэтому необходимо максимально изучить возможности этого метода и определить возникающие ограничения, чтобы в дальнейшем прогнозировать результаты уже применительно к реальным изделиям [10].

В данной статье была рассмотрена обработка образцов различного размера из сплава AlSi10Mg, полученных методом СЛС [11]. Целью исследования являлось изучение влияния виброгалтовки на шероховатость и скругление острых кромок в зависимости от размера образцов и угла наклона стенки, с последующим определением величины образования зоны пониженного контакта и необработанной зоны.

#### Описание эксперимента

Объектом исследования стали образцы трёх размеров, с различным наклоном стенок 120°, 90° и 45° (рис. 1). Печать производилась на комплексе селективного лазерного сплавления M350 производства компании «Лазерные системы» на следующих режимах: шаг — 190 мкм, скорость — 930 мм/с, мощность — 350 Вт [12].

Образцы выполнены из алюминиевого сплава AlSi10Mg. Материал можно подвергать механической обработке, электроэрозионной обработке, сварке, обработке микродробью, полировке и, при необходимости, наносить покрытие [13]. Химический состав материала AlSi10Mg представлен в табл. 1.

Шероховатость поверхности до и после каждого этапа обработки определялась с помощью профилометра «Восток-7» ИШП-210. Контроль скругления острых кромок производился на микроскопе AmScore ME 1400TC-INF. Затем полученное изображение обрабатывалось в программе КОМПАС-3D путем наложения на него линейки. В силу особенностей технологии при печати острых граней методом селективного лазерного сплавления появляется небольшой радиус скругления острых кромок [14]. Результаты контролируемых параметров до начала обработки представлены в табл. 2.

Для контроля необработанной зоны и зоны пониженного контакта на поверхность образцов было нанесено специальное покрытие, благодаря которому после обработки можно было определить значение этих величин.

Для проведения данного исследования использовалась галтовочная вибромашина AVALON WR60 mini, предназначенная для шлифовки и полировки различных деталей из металла, керамики и пластика [15]. Обработка проводилась на следующих режимах: 1 этап — вид абразива — конус 10×10 мм, пластиковые для черновой обработки, частота обработки — 1650 об/мин, время экспозиции — 2 часа, интенсивность подачи СОЖ — 100 %. 2 этап — вид абразива — конус 10×10 мм, пластиковые для черновой обработки, частота обработки — 1950 об/мин, время экспозиции — 10 часов, интенсивность подачи СОЖ — 20 % [16]. В качестве вспомогательной жидкости использовался универсальный компаунд SK6 — химическая добавка с концентрацией ионов водорода рН 7,0, которая предназначена для удаления заусенцев, шлифовки изделий из металла. Рабочий раствор представляет собой смесь компаунда и воды в соотношении 2:100. Это оптимальная

Таблица 1. Процентное содержание химических элементов в материале AlSi10Mg  
Table 1. Percentage of chemical elements in the AlSi10Mg material

Al	Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Cr	Ni	Zn	Pb	Ti	Sn
Основа	9–11	0,2–0,45	0,55	0,05	0,45	2,0	0,05	0,1	0,05	0,15	0,05

Таблица 2. Результаты измерения контролируемых параметров перед началом обработки  
Table 2. Measurement results of controlled parameters before processing

№ образца	Габариты, мм	Угол наклона стенки, °	Радиус скругления, мм	Шероховатость плоской поверхности, мкм
1	35×10×15	90	0,50	6,4
2	35×10×15	120	0,68	6,8
3	35×10×15	45	0,34	6,2
4	45×20×25	90	0,50	6,5
5	45×20×25	120	0,68	7,3
6	45×20×25	45	0,34	5,9
7	65×30×35	90	0,50	6,4
8	65×30×35	120	0,68	7,0
9	65×30×35	45	0,34	6,3

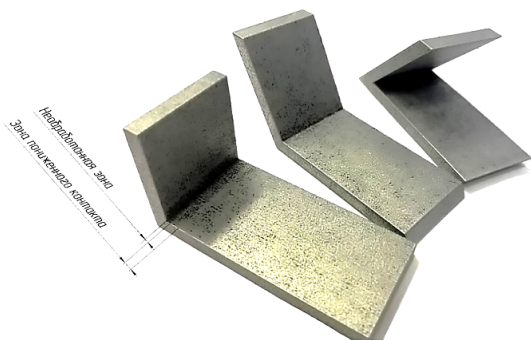


Рис. 2. Образцы после первого часа вибрационной обработки  
Fig. 2. Samples after the first hour of vibration treatment

Таблица 3. Результаты измерения труднодоступных зон обработки  
Table 3. Measurement results of hard-to-reach treatment surfaces

№ образца	Габариты, мм	Угол наклона стенки, °	Длина необработанной зоны, мм	Длина зоны пониженного контакта, мм
1	35×10×15	90	0,5	4,0
2	35×10×15	120	0,5	2,5
3	35×10×15	45	6,0	10,0
4	45×20×25	90	0,5	4,0
5	45×20×25	120	0,5	2,5
6	45×20×25	45	6,0	10,0
7	65×30×35	90	0,5	4,0
8	65×30×35	120	0,5	2,5
9	65×30×35	45	6,0	10,0

рабочая вспомогательная жидкость в современных технологиях галтования. Благодаря способности отчистки загрязнений детали и абразивные тела остаются чистыми, а поверхность оптимальной подготовленной для шлифования и полирования в галтовочных процессах. При этом сам процесс полирования становится не только механическим, но и химическим.

### Результаты эксперимента

После первого часа обработки стало возможным измерение зон, на которые абразивные тела воздействуют в меньшей степени или не воздействуют совсем. На таких зонах осталось покрытие или его часть, длина которого измерялась с помощью штангенциркуля (рис. 2).

Итоговые результаты измерений труднодоступных зон обработки представлены в табл. 3. Результаты данных параметров оставались неизменными на протяжении всей обработки. Как можно заметить, длина необработанной зоны на образцах с наклоном стенки 90° и 120° приблизительно равна радиусу скругления кромок галтовочного тела. Размер труднодоступной зоны образцов с наклоном стенки 45° значительно больше, так как габариты и конусность абразивного тела не позволяют проникнуть ему в угловую часть (рис. 3).

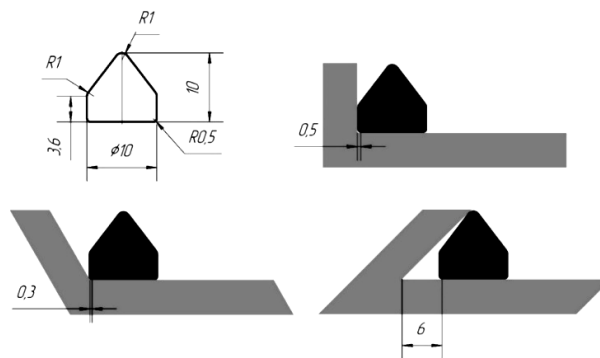


Рис. 3. Образование необработанных зон при вибрационной обработке  
Fig. 3. Formation of untreated zones during vibration treatment

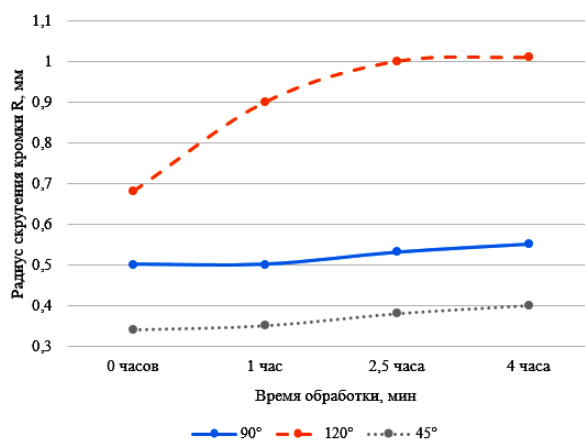


Рис. 4. График скругления острой кромки  
Fig. 4. Graph of the rounding of the sharp edge

При обработке угловых элементов изделий любым абразивом будут образовываться такие зоны, так как даже галтовочное тело с идеально острой гранью, которая может обработать угол, в процессе галтования начнет изнашиваться и скруглит свою же кромку [17]. Результаты измерения скругления кромок образцов представлены на графиках (рис. 4).

Вне зависимости от размера образца скругление кромок, образованной одинаковыми углами, происходило приблизительно одинаково. Измерения производились только на протяжении первых 4 часов обработки, так как в дальнейшем данная величина меняется незначительно. Происходит это из-за того, что основной припуск с образцов снимается в первые часы обработки. Из графика видно, что скругление угла 120° происходит заметно эффективнее, чем на углах 45° и 90°. Связано это с тем, что галтовочные тела имеют большую зону контакта и возможность дольше задерживаться на поверхности образца при обработке тупого угла, в отличие от прямого и острого. Результаты измерения шероховатости поверхностей образцов представлены в виде графиков на рис. 5.

После анализа представленных графиков (рис. 5) можно сделать вывод о том, что наиболее заметное снижение шероховатости наблюдается в течение первых 4 часов обработки, а на образцах большего размера данный процесс протекает эффективнее. Угол наклона стенки незначительно влияет на результат, но, как было замечено ранее, от него напрямую зависит величина необработанных

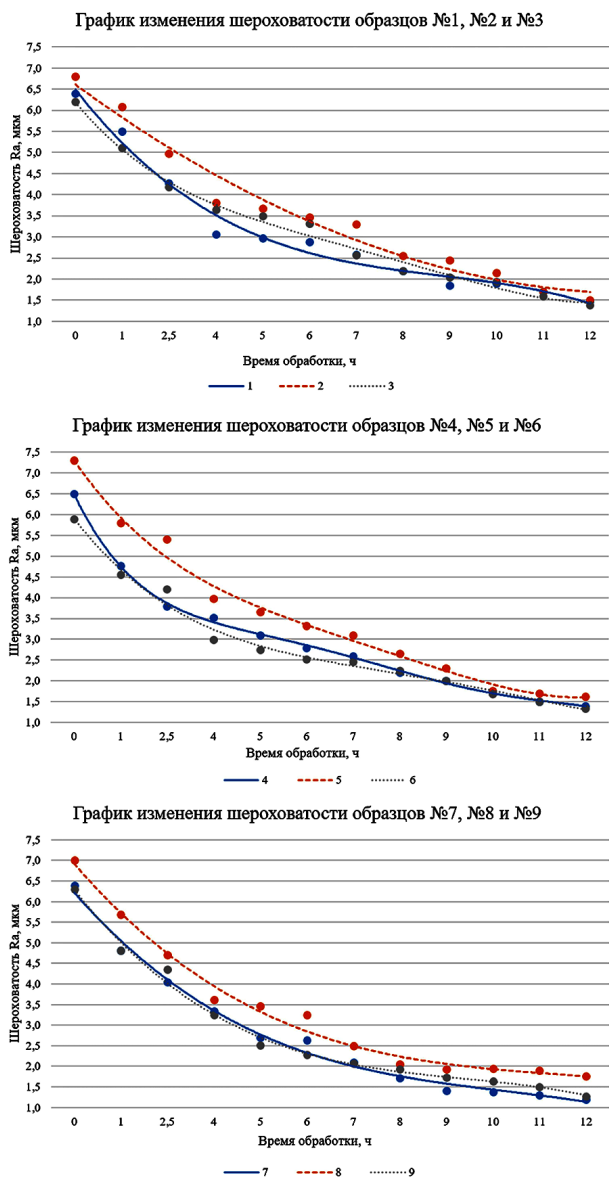


Рис. 5. График изменения шероховатости образцов из сплава AlSi10Mg во время вибрационной обработки  
 Fig. 5. Graph of changes in the roughness of AlSi10Mg alloy samples during vibration treatment

ной зоны. В последующие 8 часов обработки происходит менее интенсивное, но стабильное улучшение качества поверхности. Наилучшее значение, которое удалось достигнуть за 12 часов обработки, — Ra 1,2 мкм на образце № 7, что приблизительно равно минимально возможной шероховатости, которую можно получить при черновой шлифовке пластиковыми телами. Стоит отметить, что конечная шероховатость напрямую зависит от её начального значения, полученного после печати. Впервые удалось достигнуть настолько низкой шероховатости и максимально избавиться от дефектного слоя на поверхности образцов, полученных с помощью технологии СЛС. Можно сделать предположение о том, что и для других изделий из более твердых материалов, возможно достижение таких показателей чистоты поверхности после вибрационной обработки. Однако необходимо учесть различные факторы, такие как продолжительность процесса и уровень абразивности галтовочных тел, применяемых в данной операции.

После проведения эксперимента можно сделать некоторые выводы:

1. Вибрационная обработка в свободном абразиве является эффективным методом для шлифования изделий из алюминиевого сплава AlSi10Mg, полученных методом селективного лазерного сплавления. Этот способ позволяет достичь высокого качества поверхности и существенно снижает шероховатость изделия (с  $\approx$  Ra 6,5 мкм до  $\approx$  Ra 1,2 мкм после черновой обработки).
2. Значительное изменение шероховатости наблюдается в течение первых четырех часов обработки, после чего становится менее интенсивным. Несмотря на это, непрерывное улучшение качества поверхности сохраняется на протяжении всех 12 часов.
3. Длина необработанной зоны может быть спрогнозирована до обработки, так как она напрямую зависит от геометрии галтовочного тела. Полностью избежать образования таких зон невозможно, но их минимизацию можно достичь путем оптимального подбора тел на основе геометрических особенностей изделия.
4. Скругление острой кромки в значительной мере происходит в первые 4 часа обработки и эффективнее данный процесс на тупых углах.
5. Масса и габариты изделия влияют на качество обработки: чем выше эти параметры, тем эффективнее процесс.

### Благодарности

Работы выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства по теме: «Организация высокотехнологичного производства промышленных ГТД с интеллектуальной системой конструкторско-технологической подготовки для повышения функциональных характеристик» (Соглашение о предоставлении гранта № 075-11-2021-042 от 24.06.2021 г.).

### Список источников

1. Антипов В. В. Перспективы развития алюминиевых, магниевых и титановых сплавов для изделий авиационно-космической техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 186–194. DOI 10.18577/2071-9140-2017-0-S-186-194. EDN: YRVMAP.
2. Баженова Н. Н. Исследование проблем обработки алюминия // *Молодой ученый*. 2017. № 7 (141). С. 38–40. URL: <https://moluch.ru/archive/141/39585/> (дата обращения: 19.07.2023).
3. Павловская Т. Г., Волков И. А., Козлов И. А. [и др.]. Экологически улучшенная технология обработки поверхности алюминиевых сплавов // *Труды ВИАМ*. 2016. № 7 (43). С. 2. DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-7-2-2. EDN: WEIYOR.
4. Boban J., Ahmed A., Jithinraj E. K. [et al.]. Polishing of additive manufactured metallic components: retrospect on existing methods and future prospects // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022. Vol. 121. P. 83–125. DOI: 10.1007/s00170-022-09382-y.
5. Basha M. M., Basha S. M., Jain V. K. [et al.]. State of the art on chemical and electrochemical based finishing processes for additive manufactured features // *Additive Manufacturing*. 2022. Vol. 58. 103028. DOI: 10.1016/j.addma.2022.103028.
6. Jingsi W., Jiaqi Z., Jun P. [et al.]. Material Removal in Ultrasonic Abrasive Polishing of Additive Manufactured

Components // Applied Sciences. 2019. Vol. 9. 5359. DOI: 10.3390/app9245359.

7. Елисеев Ю. С., Федорченко Д. Г., Голанов С. П. [и др.]. Применение аддитивной технологии селективного лазерного сплавления в конструкции малоэмиссионной камеры сгорания газотурбинной установки // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18, № 1. С. 174–183. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-174-183.

8. Кузнецов П. А., Васильева О. В., Теленков А. И. [и др.]. Аддитивные технологии на базе металлических порошковых материалов для российской промышленности // Новости материаловедения. Наука и техника. 2015. № 2 (14). С. 4–10. EDN: TONSTL.

9. Балякин А. В., Олейник М. А., Злобин Е. П. [и др.]. Обзор гибридного аддитивного производства металлических деталей // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2022. Т. 21, № 2. С. 48–64. DOI: 10.18287/2541-7533-2022-21-2-48-64. EDN: NOVEUV.

10. Щелокова П. Ю., Беляков Н. В. Основные проблемы назначения режимных параметров роторной галтовки металлических изделий в условиях серийного и мелкосерийного производства // Политехнический молодежный журнал МГТУ имени Н. Э. Баумана. 2017. № 3 (8). С. 10. DOI: 10.18698/2541-8009-2017-3-90. EDN: YKVZLX.

11. Агаповичев А. В., Хаймович А. И., Кокарева В. В. [и др.]. Определение рациональных технологических параметров селективного лазерного сплавления порошка алюминиевого сплава AlSi10Mg // Перспективные материалы. 2021. № 10. С. 65–73. DOI: 10.30791/1028-978X-2021-10-65-73. EDN: YWDDLY.

12. Трасковецкая Д. В. Конференция IX Конгресса Технологической платформы РФ «Фотоника»: «Лазерные производственные технологии» // Фотоника. 2021. Т. 15, № 2. С. 122–131. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.2.122.129. EDN: JBBKUK.

13. Караваев А. К., Пучков Ю. А. Исследование структуры и свойств сплава AlSi10Mg, полученного методом селективного лазерного сплавления // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия Машиностроение. 2020. № 5 (134). С. 71–85. DOI: 10.18698/0236-3941-2020-5-71-85. EDN: MZEWKF.

14. Matache G., Vladut M., Paraschiv A. [et al.]. Edge and corner effects in selective laser melting of IN 625 alloy // Manufacturing Review. 2020. Vol. 7. 8. DOI: 10.1051/mfreview/2020008.

15. Грахольский А. А. Виброгалтовка как метод подготовки изделий под покрытие // Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России. 2019. № 1. С. 46–49. EDN: SQPWAQ.

16. Злобин Е. П., Хаймович А. И., Гончаров Е. С., Балякин А. В. Влияние технологических параметров вибрационной обработки на качество изделий, изготовленных по технологии селективного лазерного сплавления // Научные технологии в машиностроении. 2023. № 6 (144). С. 38–48. DOI: 10.30987/2223-4608-2023-38-48. EDN: CTSCML.

17. Артемов И. И., Зверовщиков А. Е., Мартынов А. Н. Формирование качества поверхностных слоев деталей при изменении характеристик рабочих тел для центробежно-планетарной объемной обработки // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2013. № 4 (28). С. 199–211. EDN: RZTRMT.

**ЗЛОБИН Евгений Петрович**, аспирант кафедры технологий производства двигателей Самарского университета, г. Самара.

SPIN-код: 2272-0867

AuthorID (РИНЦ): 1146832

ORCID: 0000-0001-8419-7653

Адрес для переписки: ep.smr@mail.ru

**ХАЙМОВИЧ Александр Исаакович**, доктор технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой технологий производства двигателей Самарского университета, г. Самара.

SPIN-код: 9966-4603

AuthorID (РИНЦ): 463931

ORCID: 0000-0002-9935-5703

Адрес для переписки: berill\_samara@bk.ru

**БАЛЯКИН Андрей Владимирович**, старший преподаватель кафедры технологий производства двигателей Самарского университета, г. Самара.

SPIN-код: 2614-5059

AuthorID (РИНЦ): 728883

ORCID: 0000-0002-1558-1034

Адрес для переписки: balaykinav@ssau.ru

#### Для цитирования

Злобин Е. П., Хаймович А. И., Балякин А. В. Влияние вибрационной обработки на шероховатость и геометрические характеристики изделий из алюминиевого сплава AlSi10Mg, полученных с помощью технологии СЛС // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2023. Т. 7, № 4. С. 65–71. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-4-65-71.

Статья поступила в редакцию 08.09.2023 г.

© Е. П. Злобин, А. И. Хаймович, А. В. Балякин

## INVESTIGATION OF THE PROCESS OF VIBRATION PROCESSING OF ALSI10MG ALUMINUM ALLOY SAMPLES OBTAINED BY SLS TECHNOLOGY

E. P. Zlobin, A. I. Khaimovich, A. V. Balyakin

Samara University,  
Russia, Samara, Moskovskoye shosse, 34, 443086

The results of the experiment aimed at studying the effect of vibration treatment on samples of various sizes made of AlSi10Mg alloy obtained by selective laser melting are presented. During the investigation, changes in the roughness and rounding of sharp edges are monitored depending on the size of the samples and the angle of inclination of the wall. Also, the formation of low contact zones and untreated zones during processing is studied. As a result of the experiment, a minimum surface roughness of Ra 1,2 microns is achieved. The length of the untreated zones, depending on the geometry, ranged from 0,5 mm to 6 mm. Rounding occurred most effectively in the first 4 hours of processing on the edges formed by an obtuse angle. The results obtained allow us to better understand the features of vibration processing of aluminum alloy products and optimize the process to achieve the required surface characteristics. Thus, the results of the study can be useful for various industrial sectors where aluminum alloys are used, and contribute to the further development of processing technologies for products obtained using SLM technology.

**Keywords:** post-processing, selective laser melting, barrel finishing, vibration treatment, surface layer.

### Acknowledgments

The work is carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of Russia as part of the implementation of a comprehensive project to create a high-tech production on the topic: "Organization of high-tech production of industrial gas turbine engines with an intellectual system of design and technological training to improve functional characteristics" (Grant Agreement No. 075-11-2021-042 dated 24.06.2021).

### References

1. Antipov V. V. Perspektivy razvitiya alyuminiyevykh, magniyevykh i titanovykh splavov dlya izdeliy aviatsionno-kosmicheskoy tekhniki [Prospects for development of aluminium, magnesium and titanium alloys for aerospace engineering] // *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii. Aviation Materials and Technologies*. 2017. No. S. P. 186–194. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-186-194. EDN: YRVMAP/ (In Russ.).
2. Bazhenova N. N. Issledovaniye problem obrabotki alyuminiya [Study of aluminium processing problems] // *Molodoy uchenyy. Young Scientist*. 2017. No. 7 (141). P. 38–40. URL: <https://moluch.ru/archive/141/39585/> (accessed: 19.07.2023). (In Russ.).
3. Pavlovskaya T. G., Volkov I. A., Kozlov I. A. [et al.]. Ekologicheskii uluchshennaya tekhnologiya obrabotki poverkhnosti alyuminiyevykh splavov [Ecologically improved technology of aluminum alloys surface treatment] // *Trudy VIAM. Proceedings of VIAM*. 2016. No. 7 (43). P. 2. DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-7-2-2. EDN: WEIYOR. (In Russ.).
4. Boban J., Ahmed A., Jithinraj E. K. [et al.]. Polishing of additive manufactured metallic components: retrospect on existing methods and future prospects // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022. Vol. 121. P. 83–125. DOI: 10.1007/s00170-022-09382-y. (In Engl.).
5. Basha M. M., Basha S. M., Jain V. K. [et al.]. State of the art on chemical and electrochemical based finishing processes for additive manufactured features // *Additive Manufacturing*. 2022. Vol. 58. 103028. DOI: 10.1016/j.addma.2022.103028. (In Engl.).
6. Jingsi W., Jiaqi Z., Jun P. [et al.]. Material Removal in Ultrasonic Abrasive Polishing of Additive Manufactured Components // *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9. 5359. DOI: 10.3390/app9245359. (In Engl.).
7. Eliseyev Yu. S., Fedorchenko D. G., Golanov S. P. [et al.]. Primeneniye additivnoy tekhnologii selektivnogo lazernogo splavlaniya v konstruksii maloemissionnoy kamery sgoraniya gazoturbinnoy ustanovki [Application of additive technology of selective laser melting (SLM) in designing a low emission combustion chamber of a gas turbine plant] // *Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroyeniye. Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 18, no. 1. P. 174–183. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-174-183. (In Russ.).
8. Kuznetsov P. A., Vasil'yeva O. V., Telenkov A. I. [et al.]. Additivnyye tekhnologii na baze metallicheskih poroshkovykh materialov dlya rossiyskoy promyshlennosti [Additive technology on based metal powder materials for Russian industry] // *Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika. Material Science and Technology News*. 2015. No. 2 (14). P. 4–10. EDN: TONSTL. (In Russ.).
9. Balyakin A. V., Oleynik M. A., Zlobin E. P. [et al.]. Obzor gibridnogo additivnogo proizvodstva metallicheskih detaley [A review of hybrid additive manufacturing of metal parts] // *Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroyeniye. Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2022. Vol. 21, no. 2. P. 48–64. DOI: 10.18287/2541-7533-2022-21-2-48-64. EDN: NOVEUV. (In Russ.).
10. Shchelokova P. Yu., Belyakov N. V. Osnovnyye problemy naznacheniya rezhimnykh parametrov rotornogo galtovki metallicheskih izdeliy v usloviyakh seriynogo i melkoseriynogo proizvodstva [Main problems in standard parameters allocation of

metalware rotary tumbling in series and small-series production] // Politehnicheskiy molodezhnyy zhurnal MGTU imeni N. E. Baumana. *Politechnical Student Journal of BMSTU*. 2017. No. 3 (8). P. 10. DOI: 10.18698/2541-8009-2017-3-90. EDN: YKVZLX. (In Russ.).

11. Agapovichev A. V., Khaymovich A. I., Kokareva V. V. [i dr.]. Opredeleniye ratsional'nykh tekhnologicheskikh parametrov selektivnogo lazernogo splavleniya poroshka alyuminiyevogo splava AlSi10Mg [Determination of optimal technological parameters of selective laser melting of AlSi10Mg aluminum alloy powder] // Perspektivnyye materialy. *Perspektivnye Materialy*. 2021. No. 10. P. 65–73. DOI: 10.30791/1028-978X-2021-10-65-73. EDN: YWDDLY. (In Russ.).

12. Traskovetskaya D. V. Konferentsiya IX Kongressa Tekhnologicheskoy platformy RF «Fotonika»: «Lazernyye proizvodstvennyye tekhnologii» [IX Congress of the Russian technology platform photonics: the conference laser industrial technologies] // Fotonika. *Photonics*. 2021. Vol. 15, no. 2. P. 122–131. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.2.122.129. EDN: JBBKUK. (In Russ.).

13. Karavayev A. K., Puchkov Yu. A. Issledovaniye struktury i svoystv splava AlSi10Mg, poluchennogo metodom selektivnogo lazernogo splavleniya [Investigating the structure and properties of the AlSi10Mg alloy manufactured by means of selective laser melting] // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Baumana. Seriya Mashinostroyeniye. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*. 2020. No. 5 (134). P. 71–85. DOI: 10.18698/0236-3941-2020-5-71-85. EDN: MZEWKF. (In Russ.).

14. Matache G., Vladut M., Paraschiv A. [et al.]. Edge and corner effects in selective laser melting of IN 625 alloy // Manufacturing Review. 2020. Vol. 7. 8. DOI: 10.1051/mfreview/2020008. (In Engl.).

15. Grakhol'skiy A. A. Vibrogaltovka, kak metod podgotovki izdeliy pod pokrytiye [Vibroturning as a method of preparation of products for coating] // Inzhenernyye kadry — budushcheye innovatsionnoy ekonomiki Rossii. *Inzhenernyye Kadry — Budushcheye Innovatsionnoy Ekonomiki Rossii*. 2019. No. 1. P. 46–49. EDN: SQPWA0. (In Russ.).

16. Zlobin E. P., Khaymovich A. I., Goncharov E. S., Balyakin A. V. Vliyaniye tekhnologicheskikh parametrov vibratsionnoy obrabotki na kachestvo izdeliy, izgotovlennykh po tekhnologii selektivnogo lazernogo splavleniya [The effect of vibration treatment technological parameters on the quality of products, manufactured by using selective laser fusion technology] // Naukoyemkiye tekhnologii v mashinostroyenii. *Science Intensive*

*Technologies in Mechanical Engineering*. 2023. No. 6 (144). P. 38–48. DOI: 10.30987/2223-4608-2023-38-48. EDN: CTSCML. (In Russ.).

17. Artemov I. I., Zverovshchikov A. E., Martynov A. N. Formirovaniye kachestva poverkhnostnykh sloyev detaley pri izmenenii kharakteristik rabochikh tel dlya tsentrobezhno-planetarnoy ob"yemnoy obrabotki [Forming the quality of surface coatings of workpieces in the course of changing characteristics of working media for three-axis centrifugal treatment] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskkiye nauki. *University proceedings. Volga Region. Technical Sciences*. 2013. No. 4 (28). P. 199–211. EDN: RZTRMT. (In Russ.).

**ZLOBIN Evgeny Petrovich**, Graduate Student of Engine Production Technology Department, Samara University, Samara.

SPIN-code: 2272-0867

AuthorID (RSCI): 1146832

ORCID: 0000-0001-8419-7653

Correspondence address: ep.smr@mail.ru

**KHAIMOVICH Alexander Isaakovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Engine Production Technology Department, Samara University, Samara.

SPIN-code: 9966-4603

AuthorID (RSCI): 463931

ORCID: 0000-0002-9935-5703

Correspondence address: berill\_samara@bk.ru

**BALYAKIN Andrey Vladimirovich**, Senior Lecturer of Engine Production Technology Department, Samara University, Samara.

SPIN-code: 2614-5059

AuthorID (RSCI): 728883

ORCID: 0000-0002-1558-1034

Correspondence address: balaykinav@ssau.ru

#### For citations

Zlobin E. P., Khaimovich A. I., Balyakin A. V. Investigation of the process of vibration processing of AlSi10Mg aluminum alloy samples obtained by SLS technology // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2023. Vol. 7, no. 4. P. 65–71. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-4-65-71.

Received September 08, 2023.

© E. P. Zlobin, A. I. Khaimovich, A. V. Balyakin