

Для оценки трудоемкости и обоснования выбора вариантов конструктивных решений ножей исполнительного органа необходимо найти соотношение величины трудоемкости сборной конструкции к цельной:

$$\frac{T_{\text{сборн}}}{T_{\text{цельн}}} = \frac{64}{27} = 2,37 \approx 2,5$$

Соотношение величины трудоемкости сборной конструкции ножей на примере прямой геликоидной формы к цельной конструкции показывает, что сборная конструкция является в 2,5 раза более трудоемкой. Это увеличивает затраты на изготовление, сборку конструкции ножевых исполнительных органов и приведет к увеличению себестоимости конструкции в целом.

Результаты проведенных расчетов и прогнозирования трудоемкости изготовления ножа геликоидной формы учитывали объективные критерии такие, как масса снимаемого слоя, марка обрабатываемых материалов, степень технологической сложности изготовления с учетом применяемых режимов и методов обработки, способы сборки. Таким образом, по двум критериям оценки вариантов конструктивных решений ножа исполнительного органа, целесообразно выбрать цельную конструкцию ножа.

Список использованных источников:

1. Аксенов В.В. Обоснование необходимости создания исполнительного органа геолода для разрушения пород малой крепости / В.В. Аксенов, В.Ю. Садовец, Д.А. Пашков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 6 (118). – С. 8–15. – EDN XVKMRL.
2. Пашков Д.А. Обоснование силовых и энергетических параметров исполнительных органов геолода для разрушения мягких пород: диссертация кандидата технических наук: 05.05.06 / Бегляков Вячеслав Юрьевич. – Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. – 2021. – 176 с.
3. Аксенов В.В. Синтез технических решений ножевого исполнительного модуля геолода / В.В. Аксенов, В.Ю. Садовец // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2006. – № 6–2 (58). – С. 33–37. – EDN KXGTZB.
4. Праведников И.С. Ускоренные методы определения трудоемкости деталей новых изделий / И.С. Праведников // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2005. – № 2. – 28 с. – EDN TWWNAD.
5. Козлов И.В. Разработка методики построения твердотельной модели тела ножевого исполнительного органа геолода / И.В. Козлов, В.Ю. Садовец, Р.В. Садовец // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 2 (17). – С. 67–86. – DOI 10.26730/2618-7434-2022-2-67-86. – EDN SXRDEM.
6. Садовец Р.В. Разработка методики построения ножа геликоидной формы исполнительного органа геолода в SOLIDWORKS / Р.В. Садовец, Е.В. Резанова // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : сборник материалов III Международной научно-практической конференции. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019. – С. 143–147. – EDN RVSTNU.
7. Козлов И.В. Разработка методики построения твердотельной модели тела ножевого исполнительного органа геолода / И.В. Козлов, В.Ю. Садовец, Р.В. Садовец // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 2 (17). – С. 67–86. – DOI 10.26730/2618-7434-2022-2-67-86. – EDN SXRDEM.
8. Праведников И.С. Разработка математических моделей параметров динамики трудоемкости деталей бытовой техники / И.С. Праведников, Л.Н. Касимов, Н.П. Дубасов // Проектирование, диагностика и повышение надежности бытовой техники : сб. науч. трудов – Уфа : Уфимск. технол. ин-т сервиса, 1998. – С. 65–70.
9. Праведников И.С. Моделирование и оптимизация параметров подготовки производства новых изделий в условиях малого предпринимательства / И.С. Праведников, Л.Н. Касимов // Малое предпринимательство Башкортостана: науч. тр. межвуз. конф. – Уфа : Уфимск. технол. ин-т сервиса, 2001. – С. 314–318.

## ОБЗОР ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СЛС, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПОРОШКА ТИТАНА

*Е.В. Рожкова<sup>а</sup>, ст. преподаватель, А.А. Сапрыкин, к.т.н, доц.  
Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета  
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: <sup>а</sup>babakova@tpu.ru*

**Аннотация:** Последние десятилетия ведутся работы по созданию новых материалов для эксплуатации в экстремальных условиях (высокие температуры, давление, скорости, напряжения и т. д.), то есть обеспечению высокого уровня надежности, а так же экономичности изделий машиностроения. К перспективным материалам относятся титан и его соединения, благодаря их эффективной работоспособности при температурах выше 700 °С. Некоторые из интерметаллидов на основе титана используются в имплантологии, благодаря свойствам

биосовместимости, удельной прочности и эффекта памяти формы. В данной статье рассмотрен обзор параметров процесса селективного лазерного сплавления, используемых для изготовления образцов из порошка титана.

**Ключевые слова:** аддитивное производство, титан, селективного лазерного сплавления, параметры сплавления.

**Abstract:** Over the past decades, work has been underway to create new materials for operation in extreme conditions (high temperatures, pressure, speeds, stress, etc.), that is, ensuring a high level of reliability, as well as cost-effectiveness of mechanical engineering products. Promising materials include titanium and its compounds, due to their effective performance at temperatures above 700 °C. Some of the titanium-based intermetallic compounds are used in implantology due to the properties of biocompatibility, specific strength and shape memory effect. This article provides an overview of the selective laser melting process parameters used to produce samples from titanium powder

**Keywords:** additive manufacturing, titanium, selective laser melting, fusion parameters.

В настоящее время актуальной задачей является разработка способа получения изделия на основе титана с регламентированной пористостью и высоким комплексом механических и физических характеристик.

Одним из решений этих проблем являются нетрадиционные методы обработки, которые могут повысить использование титана в медицине. Внедрение в медицину аддитивной технологии очень перспективно, так как стоимость имплантатов, особенно индивидуальных, очень высока, а снижение сроков производства вызывает большой интерес при разработке и изготовлении новых типов имплантатов.

Различные авторы классифицируют аддитивные технологии:

- по применяемым материалам (жидкие, сыпучие, полимерные, металлопорошковые и т. д.);
- по наличию или отсутствию лазера;
- по методам подвода энергии для фиксации слоя построения (с помощью теплового воздействия, облучения ультрафиолетовым или видимым светом, посредством связующего состава и т. д.);
- по методам формирования слоя [1–4].

Принцип селективного лазерного сплавления (СЛС) заключается в формировании трехмерного изделия путем последовательного сплавления слоев порошкового материала лучом лазера по заданной программе. Качество производимых деталей методом СЛС – пористость, механические характеристики – определяются технологическими параметрами процесса: мощностью и скоростью сканирования лазерного излучения, толщиной насыпаемого слоя порошка и т. д. [5].

Исследования, касающиеся свойств титана и его сплавов, которые были получены с помощью селективного лазерного сплавления, постоянно проводятся для оптимизации производственного процесса. Наиболее интересные аспекты исследований, которые до сих пор проводились, особенно касаются влияния параметров процесса на микроструктуру, механические свойства и точность трехмерного воспроизведения. Элементы, изготовленные с использованием аддитивных технологий, также имеют нежелательную характерную слоистую структуру с высокой шероховатостью поверхности, видимой невооруженным глазом. В частности, анизотропия механических свойств является основной технологической проблемой процесса СЛС, о чем свидетельствуют авторы работы [6], которые проводили исследования на материале IN738LC. В качестве средства для устранения анизотропии сплава Ti-6Al-4V авторы работы [7] предложили использовать термическую обработку, но это дополнительные, трудоемкие и затратные этапы в процессе изготовления деталей.

Получение интерметаллидов из порошковых смесей технологией самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) затруднено из-за неконтролируемой волны горения. Авторы И.В. Шишковский, А.Л. Петров, А.Г. Макаренко впервые реализовали возможность контролировать реакцию СВС порошковых смесей точно в пятне лазерного излучения. Этими же авторами путем подбора дисперсности порошковых смесей и лазерного воздействия были подобраны режимы обработки для синтеза изделия.

Согласно ранее проведенным исследованиям можно сказать, что лазерное воздействие на порошковые материалы позволяет контролировать синтез интерметаллических соединений, которые образуются в ограниченной зоне. Тем не менее, результатов исследования детального изучения возможностей управления лазерным излучением нет [8–10].

Поиск и разработка новых технологий получения сплава титан-ниобий представляет собой актуальную задачу. Одной из таких является селективное лазерное плавление. Данная технология позволяет быстро создавать готовую деталь с заданными функциональными свойствами из порошковых материалов, любой геометрической сложности под действием лазерного излучения

В настоящий момент нет общих стандартов по которым бы контролировалось производство специализированного металлического порошка для аддитивных лазерных технологий. Каждая компания производящая подобный вид расходного материала, изготавливает металлический порошок исключительно для своих установок. Поэтому используя специализированный металлический порошок разных компаний на одной установке для селективного лазерного спекания/плавления приводит к получению готового изделия различного качества.

Чистый титан (например, ВТ1-0) и сплав Ti-6Al-4V все чаще используются в современном производстве, заменяя традиционные материалы, такие как сталь или алюминий. Титан и его сплавы широко используются для изготовления металлических имплантатов. Это связано с высокой биосовместимостью, прочностью и коррозионной стойкостью [11].

Авторы работы [12] использовали мощность лазера (50 Вт) является относительно низкой. Они утверждают, что это является предпочтительным во многих случаях по экономическим причинам и лучшей однородности структуры. При относительно низкой мощности лазера были изготовлены образцы с параметром Ra (шероховатость) в диапазоне от 9 до 10 мкм.

В работе [13] проведен анализ треков, полученных методом СЛС, из CrTi, высокая мощность и медленная скорость сканирования приводят к более широкой ванне расплава, в то время как низкая мощность в сочетании с быстрым сканированием приводит к узкому бассейну расплава. Авторы работы показали, что ширина ванны расплава увеличивается с увеличением мощности лазера и уменьшается со скоростью сканирования, остальные параметры спекания были постоянны.

Сочетая мощность лазера и скорость сканирования, увеличение плотности энергии лазера приводит к увеличению ширины ванны расплава. В таблице 1 показан обзор параметров СЛС, используемых для изготовления образцов из порошка титана.

Таблица 1

*Параметры процесса СЛС, используемые для изготовления образцов из порошка титана*

Название материала	Плотность энергии	Мощность л.и., Вт	Скорость сканирования	Диаметр пятна лазера	Длина волны лазера	Толщина слоя	Шаг сканирования	Источник	Примечание
Ti64		120 Вт	220 мм/с	100мкм	1060 нм	30 мкм	одиночные треки	[14]	
Ti64		110Вт	200– 600 мм/с	34мкм	1064–1100нм	50 мкм	–	[14]	
CrTi		100	150– 600 мм/с	100мкм	–	50мкм	одиночные треки	[13]	
CrTi	72,2	100Вт	385мм/с	–	–	30мкм	0,12мм	[15]	Образец пористый
CrTi	119,6	165	138	–	–	100	0,10 мм	[16]	Образец твердый (монокристалл)
CrTi	100	100	100			100	0,10 мм	[17]	Образец твердый (монокристалл)
CrTi	75	50	333	–	680	25	–	[12]	Образец твердый (монокристалл)
CrTi	360	90	100	70	1070	50	0,05 мм	[18]	Образец твердый (монокристалл)
CrTi	180	90	200	70	1070	50	0,05 мм		Образец твердый (монокристалл)
CrTi	120	90	300	70	1070	50	0,05 мм		Образец твердый (монокристалл)
CrTi	90	90	400	70	1070	50	0,05 мм		Образец твердый (монокристалл)
CrTi		42	260			30		[19]	Образец пористый
CrTi	120	165	138			100	0,10	[20]	Образец пористый

Список использованных источников:

1. Shishkovskii I.V. Selective laser sintering/melting of nitinol– hydroxyapatite composite for medical applications / I.V. Shishkovskii, I.A. Yadroitsev // Powder Metallurgy and Metal Ceramics September. – 2011. – Volume 50. – P. 275–283.
2. Mazzoli A. Selective laser sintering in biomedical engineering / A. Mazzoli // Medical & Biological Engineering & Computing. – 2013. – Vol. 51, №. 3. – P. 245–256. – URL: <http://doi.org/10.1007/s11517-012-1001-x> (дата обращения: 10.04.2024). – Текст: электронный.
3. Investigation of Aging Processes of Ti-6Al-4 V Powder Material in Laser Melting / V. Seyda, N. Kaufmann, C. Emmelmann // Physics Procedia. – 2012. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389212025849> (дата обращения 14.04.2024). – Текст: электронный.
4. Biomedical applications of titanium and its alloys / C.N. Elias, J.H.C. Lima, R. Valiev [et al.] // JOM. – 2008. – № 60. – P. 46–49. – Doi: <https://doi.org/10.1007/s11837-008-0031-1>.
5. Revival of pure titanium for dynamically loaded porous implants using additive manufacturing / R. Wauthle, S.M. Ahmadi, S. Yavari Amin [et al.] // Materials Science and Engineering. – 2015. – Volume 54. – P. 94–100.
6. Synthesis of Ti-5Al, Ti-6Al-7Nb, and Ti-22Al-25Nb alloys from elemental powders using powder-bed fusion additive manufacturing / I. Polozov, V. Sufiiarov, A. Popovich [et.al.] // J. Alloy. Compd. – 2018. – 763. – P. 436–445. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.325>(дата обращения 14.04.2024). – Текст: электронный.
7. Aydogmus T. Processing of porous  $\beta$ -type Ti74Nb26 alloys for biomedical applications / T. Aydogmus, D. Kareem, H. Palani, F. Kelen // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – № 872. – 159737. – Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159737>.
8. Manufacture by selective laser melting and mechanical behavior of commercially pure titanium / H. Attar, M. Calin, L.C. Zhang, S. Scudino [et al.] // Materials Science and Engineering. – 2014. – P. 170–177.
9. Densification behavior, microstructure evolution, and wear performance of selective laser melting processed commercially pure titanium / D. Gu, Y.-C. Hagedorn, W. Meiners [et al.] // Acta Materialia. – 2012. – Volume 60. – P. 3849–3860.
10. Mechanical behavior of porous commercially pure Ti and Ti-TiB composite materials manufactured by selective laser melting / H. Attar, L. Lober, A. Funk [et al.] // Materials Science and Engineering. – 2015. – P. 350–356.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «КОМПАС-3D V21 » ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ РАБОТ**

*Д.П. Ильященко<sup>1,2,a</sup>, к.т.н, доц., Е.В. Лаврова<sup>3</sup>, д.т.н., проф., Н.В. Гуров<sup>4</sup>*  
*<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*  
*634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4*

*<sup>3</sup>Приазовский государственный технический университет*  
*г. Мариуполь, ул. Университетская 7*

*<sup>4</sup>ООО Газпром трансгаз Томск, 634029, г. Томск, пр. Фрунзе, 9*  
*E-mail: <sup>a</sup> mita8@tpu.ru*

**Аннотация:** В данной статье произведена оценка использования программного комплекса «КОМПАС-3D V21 » для разработки новых технологических карт выполнения сварочных работ.

**Ключевые слова:** конструктивные элементы подготовки кромок, сварной шов, ручная дуговая сварка

**Abstract:** This article evaluates the use of the КОМПАС-3D V21 software package for the development of new technological maps for welding operations.

**Keywords:** structural elements of edge preparation, weld seam, manual arc welding

Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 02.12.2021 г. № 3427-р, «целью цифровой трансформации является обеспечение эффективной информационной поддержки участников образовательных отношений в рамках организации процесса получения образования и управления образовательной деятельностью» [1]. Согласно этому документу «задачами цифровой трансформации являются: повышение эффективности процессов функционирования организаций, осуществляющих образовательную деятельность; предоставление равного доступа к качественному верифицированному цифровому образовательному контенту и цифровым образовательным сервисам на всей территории Российской Федерации всем категориям обучающихся; формирование набора сервисов с единой точкой доступа к цифровым образовательным ресурсам, направленным на повышение уровня цифровой культуры».