



МРНТИ 55.24.99

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-241-252>

Научная статья

Исследование возможности использования методов аддитивной технологии при ремонте деталей сельскохозяйственной техники

К.Т.Шеров¹, Д.И.Бердымуратова*¹, Б.Мырзахмет¹, А.А.Сагитов¹,
С.И.Мендалиева¹

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

(E-mail: didar.b.93_9393@mail.ru)

Аннотация. В настоящее время поддержания сельскохозяйственной техники в постоянном работоспособном состоянии является актуальной задачей. Исследования, выполненные по изучению состояния проблемы в условиях предприятий АПК РК, показали, что на качественную организацию работы сельхозтехники оказывает отрицательное влияние отсутствие централизованных ремонтно-восстановительных баз и производств. Из-за этого невозможно своевременно и качественно выполнять ремонтно-восстановительные работы, а также технические обслуживание сельскохозяйственных машин и техники. Эту проблему можно решить с помощью аддитивных технологий. С этой целью было исследованы существующие методы аддитивной технологии. В настоящее время, чтобы восстановить детали, используют селективную лазерную наплавку. Это такие методы, как DLMD-технология и LENS-технология (LaserEngineeredNetShaping). Было проведено экспериментальное исследование по изготовлению детали «вал-шестерня» с помощью 3D-принтера Stratasys F170 в лабораторных условиях кафедры «Технологические машины и оборудования» Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина.

Результаты показали, что время 3D-печати определяется размерами модели, плотностью и формой заполнения, а также толщиной слоя печати. Установлено, что увеличение толщины слоя оказывает двойное влияние на процесс 3D-печати - положительно сказывается на сокращении времени печати, но отрицательно сказывается на жесткости напечатанного образца. Использование аддитивной технологии в ремонтно-восстановительных работах, а также при изготовлении деталей сельскохозяйственной техники и машин является новым научным направлением. В связи с этим были определены перспективные задачи.

Ключевые слова: аддитивные технологии, ремонтно-восстановительные работы, сельскохозяйственная техника, износ, 3D-печать, 3d-модель, толщина слоя печати.

Поступила 13.09.2024. Доработана 16.09.2024. Одобрена 16.09.2024. Доступна онлайн 30.09.2024.

¹*автор по корреспонденции

Введение

В целях поддержания сельскохозяйственной техники в постоянном работоспособном состоянии важно организованно и своевременно решать проблемы ремонта и технического обслуживания техники. Производительная и бесперебойная работа технологических машин и оборудования зависит от способов организации ремонта. Актуальной проблемой на сегодня является восстановление деталей и узлов, ремонт которых существующими способами технологически невозможен. Отсутствие централизованных ремонтно-восстановительных баз для обслуживания предприятий агропромышленного комплекса Республики Казахстан (АПК РК) больше усугубляют эту проблему. Данную проблему максимально эффективно помогают решать появившиеся в последние десятилетия технологии добавочных производств (Additive manufacturing - AM), которые могут играть не только технологическую, но и организационную роль в ремонте машин. Добавочные технологии в ремонте помогут не только восстанавливать детали, но и изготавливать новые. Деталям современных конструкций машин и оборудования свойственны особенности быть легко заменяемыми вновь изготовленными деталями из других материалов и другими способами. Такая технология ремонта и восстановления деталей позволяет обеспечить надлежащий ресурс техники при относительно низких затратах.

Аддитивный процесс может быть как непосредственным, когда они дают возможность сделать готовую деталь, так и косвенным, когда AM-технологии позволяют разработать оснастки или инструмент, которые далее используются в производстве.

Современное производство использует различные виды таких технологий, которые отличаются материалами и применяемым оборудованием. Последовательность работ можно представить следующим образом. (рисунок 1) [1].



Рисунок 1. Модель изготовления детали по AM-технологии

Методология

Использование АМ-технологий при восстановлении изношенных деталей становится распространенным и эффективным решением по обеспечению работоспособного состояния технического парка в любой отрасли. В аграрном же секторе это еще более актуально, так как использование АМ-технологий приводит к сокращению времени простоя машино-тракторного парка по техническим причинам и времени устранения отказа. Следует заметить, что в конструкциях сельскохозяйственных машин наиболее уязвимым считается восстановление деталей зубчатых передач и деталей тел вращения, имеющие определенные площади сопрягаемых поверхностей. Важно отметить, что эффективность восстановления определяется обеспечением надлежащей межремонтной наработки или ресурса.

Подобные исследования были проведены коллегами из Белорусского агротехнического университета и по некоторым направлениям имеются определенные результаты [1, 2, 3, 4].

На рис. 2 показано, как восстанавливается вал по LENS-технологии. Если ремонтировать обычным способом, т.е. наплавкой, то вал может быть деформирован. Но в нашем случае лазерное напыление помогает избежать этого. При напылении был нанесен порошок Co-28Cr-4,5W. Основной материал - сталь марки 9ХС.



а)



б)

Рисунок 2. Процесс восстановления вала: после нанесения слоя (а); после финишной обработки (б)



Рисунок 3. Восстановление изношенного вала

При LENS-технологии можно использовать разные металлы и сплавы. Самое главное преимущество – это одновременное использование двух или нескольких материалов. Оборудование обеспечивает такую подачу. Кроме этого, технология дает возможность улучшить качество поверхности обрабатываемой детали. Здесь можно отметить, что наряду с процессом восстановления осуществляется и процесс упрочнения.

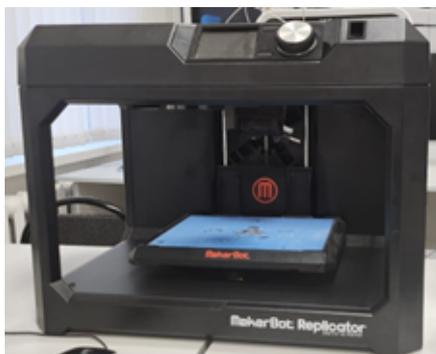
Результаты и Обсуждение

Исследования по использованию методов аддитивной технологии при изготовлении деталей были выполнены в лабораторных условиях кафедры «Технологические машины и оборудования» (ТМО) Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина (КазАТИУ).

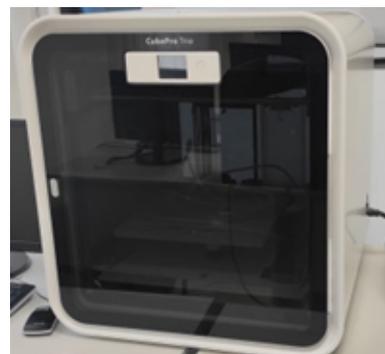
В лаборатории кафедры ТМО имеются несколько видов 3D-принтеров, в том числе 3D-принтер Stratasys F170, который предназначен для точной печати инженерными пластиками по технологии FDM/FFF и может использоваться для производства надежных аксессуаров, прототипов и деталей машин. На рисунке 4 показаны фотографии 3D-принтеров, имеющих на кафедре ТМО.



а)



б)



в)

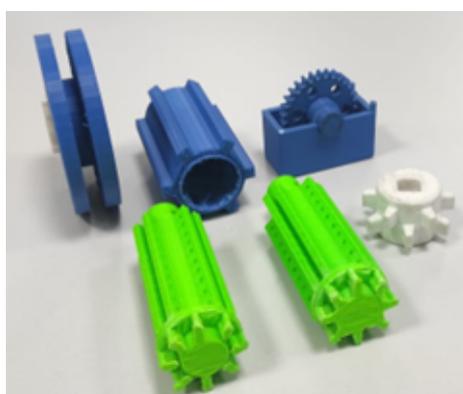
а – 3D-принтер Stratasys F170; б – 3D-принтер MakerBot Replicator; в – 3D-принтер CubePro Trio

Рисунок 4. Фотографии 3D-принтеров

На рисунке 5 показаны детали, изготовленные на 3D-принтерах.



а)



б)

а – детали, изготовленные на 3D-принтере Stratasys F170; б – детали, изготовленные на 3D-принтере MakerBotReplikator

Рисунок 5. Детали, изготовленные на 3D принтерах

Подготовка образца для 3D-печати начинается с построения 3d-модели детали по программам 3D-модели. На рисунке 6 показан процесс построение 3d-модели детали «вал-шестерня» в программе Компас 3D.

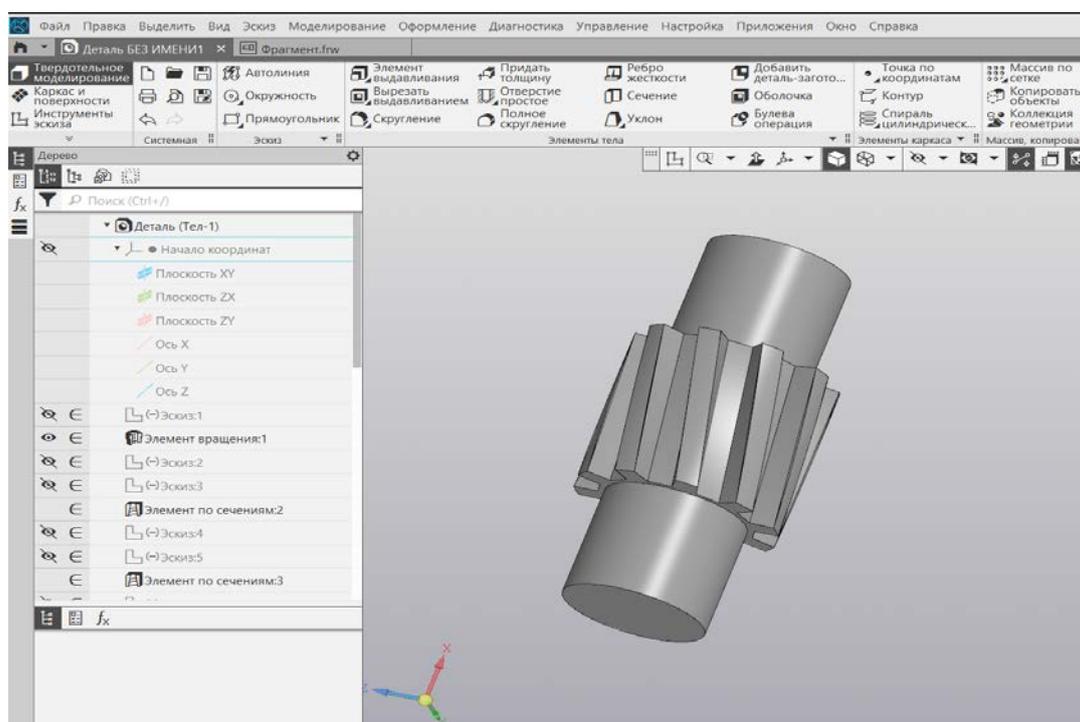


Рисунок 6. 3D-модель детали «вал-шестерня» в программе Компас 3D

3d-модель детали, построенная в программе Компас 3D, сохраняется в формате STL-файл. Созданный STL-файл открывается в специальных программах для 3D-принтеров (Makerbot, CubePro, PrusaSlicer и др.). На рисунке 7 показана импортированная 3d-модель детали в программе PrusaSlicer.

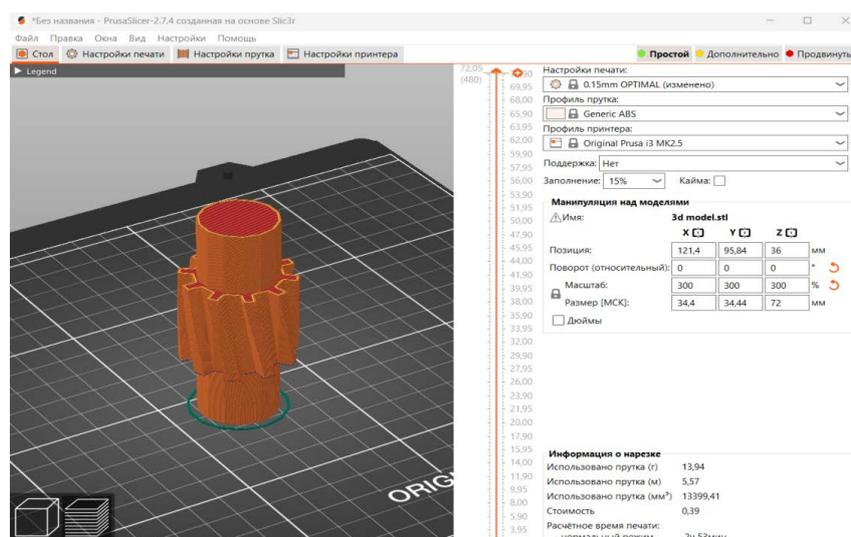


Рисунок 7. Импортированная 3d-модель детали в программе PrusaSlicer

В программе можно произвести настройку 3D-принтера, пластика и 3D-печати. Также можно выставить параметры поддержек и плотность заполнения модели, включить или выключить кайму и произвести манипуляции с моделью: повернуть, масштабировать и так далее.

Время 3D-печати напрямую зависит не только от размеров модели, но и от плотности и формы заполнения, а также от толщины слоя печати (рисунок 8).

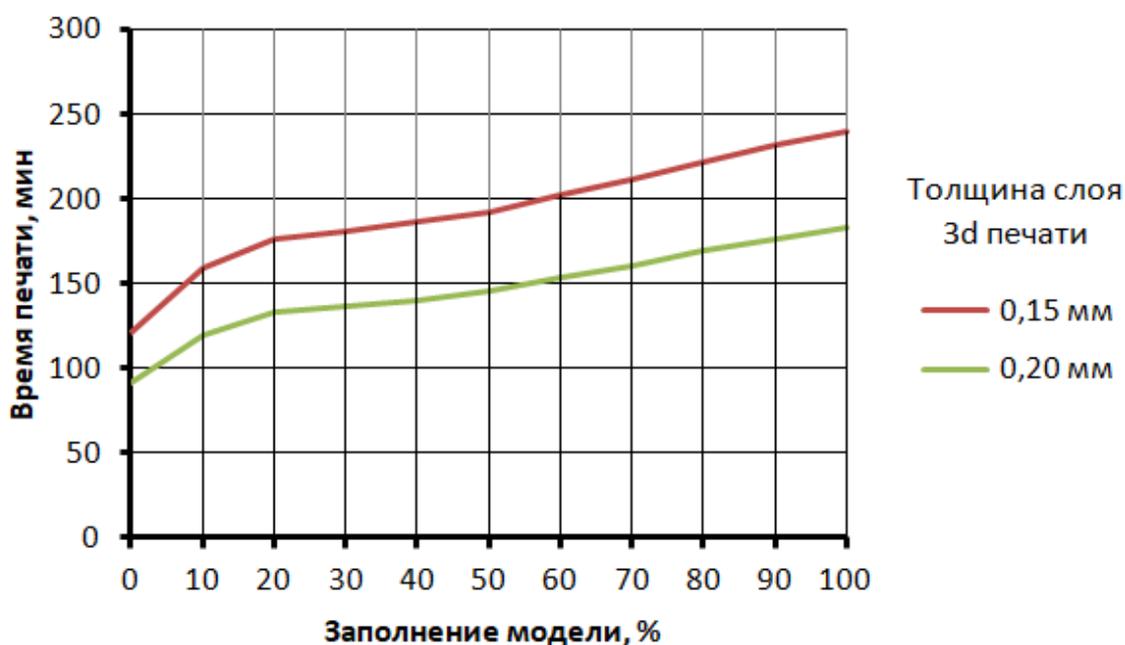


Рисунок 8. Зависимость времени 3D-печати от заполнения формы и от толщины слоя

Для быстрой печати можно использовать низкие значения заполнения для экономии материала, но чем ниже плотность, тем меньше опор для стенок, а значит тем проще сломать оболочку. Увеличение толщины слоя при печати дает возможность сократить время печати (рисунок 8), но увеличение толщины слоя отрицательно сказывается на жесткости напечатанного образца.

В процессе выполнения проекта AP23489364 «Использование аддитивных технологий при ремонте сельскохозяйственных машин с оптимизацией процесса путем моделирования и экспериментального исследования» будет приобретено оборудование с более широкой технологической возможностью, позволяющие изготовить детали более сложной конфигурации, а также восстановить отдельные изношенные места деталей сельскохозяйственной техники.

Данное научное направление является новым для отечественной науки и производства. В дальнейших исследованиях необходимо выполнение следующих работ:

– разработка алгоритма использования методов аддитивной технологии для восстановления и изготовления деталей сельскохозяйственной техники в ремонтном производстве;

- установление закономерности влияния режимов процесса формирования слоя на свойства и физическую прочность изготовленной детали;
- разработка методики моделирование и исследование процесса послойного синтеза 3D-печати и влияние толщины слоя на качество изготовления детали;
- установление закономерности влияния температуры на показатели качества при получении деталей методом аддитивной технологии.

В результате использования АМ-технологий для восстановления и изготовления деталей сельскохозяйственной техники значительно упрощается логистика и сокращается время поставки запчастей, ускоряется ремонт и уменьшаются объемы складских запасов, что может привести к кардинальному изменению принципов организации всей работы ремонтных предприятий.

Заключение

Выполненные исследования в условиях предприятий АПК РК показали, что существует проблема при восстановлении и изготовлении деталей сельскохозяйственной техники и машин. Из-за отсутствия централизованных ремонтно-восстановительных баз невозможно своевременно и качественно выполнять ремонтно-восстановительные работы, а также техническое обслуживание сельскохозяйственных машин и техники. Решить эту проблему можно путем применения АМ-технологий для ремонта и изготовления деталей сельскохозяйственной техники и машин.

Для восстановления детали используют селективную лазерную наплавку. Это такие методы, как DLMD-технология и LENS-технология (LaserEngineeredNetShaping).

Результаты изготовления детали «вал-шестерня» с помощью 3D-принтера Stratasys F170 показали, что время 3D-печати определяется размерами модели, плотностью и формами заполнения, а также толщиной слоя печати.

Установлено, что увеличение толщины слоя оказывает двоякое влияние на процесс 3D-печати – положительно сказывается на сокращении времени печати, но отрицательно сказывается на жесткости напечатанного образца. Использование аддитивной технологии в ремонтно-восстановительных работах, а также при изготовлении деталей сельскохозяйственной техники и машин является новым научным направлением. В связи с этим были определены задачи дальнейших исследований.

Подтверждение

Научное исследование выполнено в рамках грантовой темы AP23489364 «Использование аддитивных технологий при ремонте сельскохозяйственных машин с оптимизацией процесса путем моделирования и экспериментального исследования», которая финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Вклад авторов:

К.Т.Шеров – концепция, методология, корректировка, получение финансирования.

Д.И.Бердымуратова – разработка программы, проведение эксперимента, сбор и обработка данных.

Б.Мырзахмет – моделирование, интерпретация, обработка результатов.

А.А.Сагитов – визуализация, анализ, получение финансирования.

С.И.Мендалиева – обзор существующих технологий, исследование состояние проблемы, выводы.

Список литературы

1. Толочко Н.К., Нукешев С.О., Романюк Н.Н. Мендалиева С.И. Под ред. Н.К. Толочко. Аддитивные технологии в производстве и ремонте машин: учебное пособие. – Нур-Султан: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2022. – 176 с.

2. Толочко Н.К. Аддитивное производство деталей сельскохозяйственных машин / Толочко Н.К., Романюк Н.Н., Авраменко П.В., Сокол О.В. // Исследования, результаты (Алматы). – 2020. –№4. –С. 335-344.

3. Толочко Н.К. Проектирование и аддитивное производство деталей машин / Н.К. Толочко, П.В. Авраменко, О.В. Сокол, А.А. Груша, Д.И. Копчик // Агропанорама. – 2020. – №4. С. – 2-7.

4. Толочко Н.К. Аддитивные технологии и высшая школа / Толочко Н.К., Романюк Н.Н., Авраменко П.В.// Вышэйшая школа. – 2021. – № 1. – С. 38–43.

5. Griffiths R.J., Wilson-Heid A.E., Linne M.A., Garza E.V., Wright A., Martin A.A. Additive Friction Stir Deposition of a Tantalum–Tungsten Refractory Alloy. J. Manuf. Mater. Process.2024,8, 177. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040177>

6. Aronne M., Polano M., Bertana V., Ferrero S., Frascella F., Scaltrito L., Marasso S.L. Application of 3D and 4D Printing in Electronics. J. Manuf. Mater. Process.2024,8, 164. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040164>

7. Ludwig I., Gerassimenko A., Imgrund P. Investigation of Metal Powder Blending for PBF-LB/M Using Particle Tracing with Ti-6Al-4V. J. Manuf. Mater. Process.2024,8, 151. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040151>

К.Т. Шеров, Д.И. Бердімұратова*, Б. Мырзахмет, А.А. Сагитов, С.И. Мендалиева

«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Астана, Қазақстан

Ауыл шаруашылығы машиналарының бөлшектерін жөндеуде аддитивті технология әдістерін қолдану мүмкіндігін зерттеу

Андатпа. Қазіргі уақытта ауыл шаруашылығы техникасын тұрақты жұмыс жағдайында ұстау өзекті міндет болып табылады. ҚР АӨК кәсіпорындары жағдайындағы проблемалардың жай-күйін зерделеу бойынша жүргізілген зерттеулер ауыл шаруашылығы техникасының жұмысын сапалы ұйымдастыруға орталықтандырылған жөндеу-қалпына келтіру базалары мен

өндірістердің болмауы теріс әсер ететінін көрсетті. Осыған байланысты жөндеу-қалпына келтіру жұмыстарын, сондай-ақ ауыл шаруашылығы машиналары мен техникаларына техникалық қызмет көрсетуді уақтылы және сапалы орындау мүмкін емес.

Бұл мәселені шешу үшін ауылшаруашылық техникасы мен машиналарының бөлшектерін жөндеу және дайындау кезінде АӨ технологияларын қолдану ұсынылады. Осы мақсатта аддитивті технологияның қолданыстағы әдістері зерттелді. С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасының зертханалық жағдайында Stratasys F170 3D принтерінің көмегімен «білік-тістегеріш» бөлшегін жасау бойынша эксперименттік зерттеу жүргізілді. Нәтижелер 3D басып шығару уақыты модель өлшемдеріне ғана емес, сонымен қатар толтыру тығыздығы мен пішініне және басып шығару қабатының қалыңдығына тікелей байланысты екенін көрсетті.

Қабаттың қалыңдығының артуы 3D басып шығару процесіне екі есе әсер ететіні анықталды басып шығару уақытының қысқаруына оң әсер етеді, бірақ басып шығарылған үлгінің қаттылығына теріс әсер етеді.

Түйін сөздер: Аддитивті технологиялар, жөндеу және қалпына келтіру жұмыстары, ауылшаруашылық техникасы, тозу, 3D басып шығару, 3D моделі, басып шығару қабатының қалыңдығы.

K.T. Sherov, D.I. Berdimuratova*, B. Myrzahmet, A.A. Sagitov, S.I. Mendaliev

Kazakh Agrotechnical Research University named after. S. Seifullina, Astana, Kazakhstan

Study of the possibility of using additive technology methods in the repair of agricultural machinery parts

Abstract. Currently, maintaining agricultural machinery in a constant working condition is an urgent task. Studies carried out to study the state of the problem in the conditions of agricultural enterprises of the Republic of Kazakhstan have shown that the lack of centralized repair and restoration bases and production facilities has a negative impact on the quality organization of agricultural machinery. Because of this, it is impossible to carry out repair and restoration work in a timely and high-quality manner, as well as technical maintenance of agricultural machinery and equipment. To solve this problem, it is proposed to use AM technologies in the repair and manufacture of parts of agricultural machinery and machines. To this end, the existing methods of additive technology were investigated. An experimental study was conducted on the manufacture of a «shaft-gear» part using a Stratasys F170 3D printer in the laboratory of the Department of «Technological Machines and Equipment» of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin.

The results showed that the time of 3D printing directly depends not only on the size of the model, but also on the density and shape of the filling, as well as on the thickness of the printing layer. It was found that an increase in the thickness of the layer has a twofold effect on the 3D printing process - it has a positive effect on reducing the printing time, but it has a negative effect on the rigidity of the printed sample.

Keywords. Additive technologies, repair and restoration work, agricultural machinery, wear, 3D printing, 3d model, thickness of the printing layer.

References

1. Tolochko N.K., Nukeshev S.O., Romanyuk N.N. Mendaliyeva S.I. Pod red. N.K. Tolochko. Additivnyye tekhnologii v proizvodstve i remonte mashin: uchebnoye posobiye. – Nur-Sultan: KATU im. S. Seyfullina, 2022. – 176 s.
2. Tolochko N.K. Additivnoye proizvodstvo detaley sel'skokhozyaystvennykh mashin / Tolochko N.K., Romanyuk N.N., Avramenko P.V., Sokol O.V. // Issledovaniya, rezul'taty (Almaty). – 2020. – №4. – S. 335-344.
3. Tolochko N.K. Proyektirovaniye i additivnoye proizvodstvo detaley mashin / N.K. Tolochko, P.V. Avramenko, O.V. Sokol, A.A. Grusha, D.I. Kopchik // Agropanorama. – 2020. – №4. S. – 2-7.
4. Tolochko N.K. Additivnyye tekhnologii i vysshaya shkola / Tolochko N.K., Romanyuk N.N., Avramenko P.V. // Vysheyshaya shkola. – 2021. – № 1. – S. 38–43.
5. Griffiths R.J., Wilson-Heid A.E., Linne M.A., Garza E.V., Wright A., Martin A.A. Additive Friction Stir Deposition of a Tantalum–Tungsten Refractory Alloy. J. Manuf. Mater. Process. 2024, 8, 177. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040177>
6. Aronne M., Polano M., Bertana V., Ferrero S., Frascella F., Scaltrito L., Marasso S.L. Application of 3D and 4D Printing in Electronics. J. Manuf. Mater. Process. 2024, 8, 164. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040164>
7. Ludwig I., Gerassimenko A., Imgrund P. Investigation of Metal Powder Blending for PBF-LB/M Using Particle Tracing with Ti-6Al-4V. J. Manuf. Mater. Process. 2024, 8, 151. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040151>

Сведения об авторах:

К.Т. Шеров – доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан.

Д.И. Бердымұратова – докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан.

Б. Мырзахмет – докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан.

А.А. Сағитов – PhD, старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан.

С.И. Мендалиева – к.т.н, старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан.

К.Т. Шеров – техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

Д.И. Бердімұратова – докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

Б. Мырзахмет – докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

А.А. Сағитов – PhD докторы, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

С.И. Мендалиева – т.ғ.к., аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

K.T. Sherov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Zhenis Avenue 62, Astana, Republic of Kazakhstan.

D.I. Berdimuratova – doctoral student, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Zhenis Avenue 62, Astana, Republic of Kazakhstan.

B. Myrzakhetmet – doctoral student, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Zhenis Avenue 62, Astana, Republic of Kazakhstan. S.Seifullin University, 62 Zhenis Avenue, Astana city, Republic of Kazakhstan.

A.A. Sagitov – PhD, Senior lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Zhenis Avenue 62, Astana city, Republic of Kazakhstan.

S.I. Mendaliev – PhD, Senior lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Zhenis Avenue 62, Astana city, Republic of Kazakhstan.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).