

Влияние характеристик ролика на нанесение порошкового слоя в аддитивных технологиях

Богданов Валерий Михайлович, аспирант

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург (Россия)

*E-mail: bogdanov.vm@edu.spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6865-3579>

Поступила в редакцию 08.05.2024

Пересмотрена 18.09.2024

Принята к публикации 07.11.2024

Аннотация: При исследовании и анализе аддитивных технологий особое внимание уделяется повышению производительности и качества напечатанных изделий. Однако для повышения производительности 3D-печати нельзя просто увеличить скорость перемещения ракеля без изменения его формы или типа. Из-за этого может пострадать качество порошкового слоя, что приведет к ухудшению качества конечной детали. Для исследования влияния характеристик ролика на нанесение порошкового слоя проведена серия компьютерных моделирований имитационных моделей. Оценка влияния характеристик ролика на нанесение порошкового слоя проводилась для диаметров ролика 30, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300 мм. Моделирование проводилось с тремя способами нанесения: вращающимся и невращающимся роликом, а также вращающимся роликом с подачей дополнительного порошка. Определено, что при нанесении слоя вращающимся роликом с дополнительной подачей порошка можно достичь постоянства сил, действующих на ролик. Это может положительно повлиять на однородность наносимого слоя. Нанесение слоя вращающимся роликом с дополнительной подачей порошка наиболее пригодно в 3D-принтерах с большой зоной построения. Данный способ позволяет избежать перемещения большой массы порошка по предыдущему слою, что положительно влияет на качество конечной детали. Выявлено влияние характеристик ролика на нанесение порошкового слоя. В частности, при увеличении диаметра ролика с 30 до 300 мм увеличивается и значение пиковой силы. При увеличении диаметра ролика на 7,9 % увеличивается и плотность порошкового слоя. Выявлено, что на невращающийся ролик действует наибольшая сила, а силы, действующие на вращающиеся ролики, незначительно отличаются. Вращающийся ролик без добавления порошка создает наиболее плотный слой и позволяет добиться уплотнения порошкового слоя на 5,35 %.

Ключевые слова: характеристики ролика; порошковый слой; аддитивные технологии; аддитивное производство; диаметр ролика; разравнивание порошкового слоя; нанесение порошкового слоя; плотность порошкового слоя; ракель.

Для цитирования: Богданов В.М. Влияние характеристик ролика на нанесение порошкового слоя в аддитивных технологиях // Frontier Materials & Technologies. 2024. № 4. С. 9–18. DOI: 10.18323/2782-4039-2024-4-70-1.

ВВЕДЕНИЕ

Аддитивные технологии являются передовыми на современном этапе развития машиностроения. Они позволяют создавать сложные изделия, которые нецелесообразно или невозможно производить традиционными способами. При исследовании и анализе аддитивных технологий особое внимание уделяется повышению производительности и качества напечатанных изделий. Повышение требований к точности детали приводит к увеличению времени ее создания. Время создания детали складывается из времени нанесения порошкового слоя и времени его сплавления. Нанесение порошка является фундаментальным аспектом аддитивного производства и требует больших исследовательских усилий, чтобы повысить надежность и повторяемость процесса, а следовательно, качество печатных компонентов.

Основным устройством нанесения и разравнивания порошкового слоя в аддитивных установках является ракель. В настоящее время в качестве разравнивающего устройства чаще всего используются две конструкции ракеля: в виде пластины (лезвия) и в виде вращающегося

ролика. Роликовые механизмы нанесения применяются при использовании мелкодисперсных или высококогезионных порошков для обеспечения желаемых технологических характеристик и/или свойств компонентов. Ракель в виде лезвия имеет более простую конструкцию и может быть использован для нанесения порошков с высокой сыпучестью, не требующих больших приложенных сил для преодоления межчастичного сцепления.

Для повышения производительности нельзя просто увеличить скорость перемещения ракеля без изменения его формы или типа. Из-за этого может пострадать качество порошкового слоя, что приведет к ухудшению качества конечной детали [1]. Поэтому основной тенденцией в области нанесения и разравнивания порошка является исследование возможных конструкций ракеля с целью поиска конструкции с максимальной скоростью нанесения без потери качества слоя.

Исследования показывают, что для получения качественного слоя требуется высокая плотность порошкового слоя, а также что следует использовать металлический порошок с наименьшим средним размером частиц [2].

Для улучшения плотности порошкового слоя были предложены технологии по уплотнению порошкового слоя [3; 4], вибрационному нанесению [5; 6], повторному прохождению вращающимися роликами [7; 8]. Наибольшее влияние на плотность упаковки порошка оказывают геометрия и скорость разравнивающего устройства [9; 10]. Были рассмотрены ракель с сечением в виде квадрата с фаской, вращающегося и неподвижного ролика [9], параллелограмма, треугольника и квадрата [10]. Исследования показывают, что при оптимизации геометрии ракеля можно добиться более высоких показателей плотности упаковки и меньшей шероховатости нанесенного порошкового слоя [10; 11].

Было рассмотрено 48 моделей с различными параметрами профиля кромки ракеля [11]. В результате были определены оптимальные значения для этих параметров. При сравнении оптимизированного профиля с роликом отмечено, что ракель с оптимизированным профилем создавал незначительно меньшую плотность порошкового слоя (0,4 %) при самой низкой скорости (0,03 м/с). Однако он оказался гораздо менее чувствителен к увеличению скорости ракеля, так что при увеличении скорости до 0,06 м/с плотность порошкового слоя была на 2 % больше у ракеля с оптимизированным профилем. Это является значительным преимуществом и означает, что можно увеличить скорость (что означает более высокую производительность) с сохранением качества. При сравнении шероховатости поверхности порошкового слоя выяснилось, что новый профиль ракеля превосходит ролик при всех протестированных скоростях и имеет в среднем на 15 % меньшие значения шероховатости [11].

Отличительной особенностью рассмотренных исследований [3–11] является то, что слой порошка наносится на гладкую твердую поверхность. В литературе не рассматривается случай нанесения нового слоя на предыдущий порошковый слой, не найдено работ по изучению влияния на наносимый слой диаметра вращающегося ролика. Представляют интерес сила, дей-

ствующая на ролик со стороны порошка, и распределение этой силы по поверхности, а также зависимости сжимающей силы и плотности порошка от диаметра ролика и от способа нанесения.

Цель работы – выявление оптимального способа нанесения порошкового слоя путем исследования влияния диаметра вращающегося ролика на качество нанесенного слоя при помощи имитационного моделирования.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Создание имитационной модели

Моделирование процесса нанесения и разравнивания порошкового материала проводилось с использованием программного пакета Altair EDEM 2021. Это программное обеспечение для моделирования сыпучих и гранулированных материалов. EDEM основан на методе дискретных элементов (DEM) и применим для моделирования и анализа поведения угля, добытых руд, почв, волокон, зерен, таблеток, порошков и т. д.

Большинство аддитивных технологий, входящих в группу PBF (Powder Bed Fusion – синтез на подложке), имеют схожий процесс нанесения порошкового слоя. Принципиальная схема процесса представлена на рис. 1.

Цикл построения каждого слоя начинается с поднятия платформы питателя и опускания платформы построения на толщину слоя. Затем ракель движется вдоль платформ, одновременно наносит и разравнивает порошковый материал. Поскольку при моделировании процесса будет производиться нанесение лишь одного порошкового слоя, то питающий бункер не требуется. Для упрощения имитационной модели этап подготовки ограничивается созданием предыдущего порошкового слоя и порошка для нанесения нового слоя.

Созданная имитационная модель состоит из двух участков (рис. 2). Первый участок представляет собой твердую поверхность, имитирующую питатель с металлическим порошком, который необходимо будет нанести

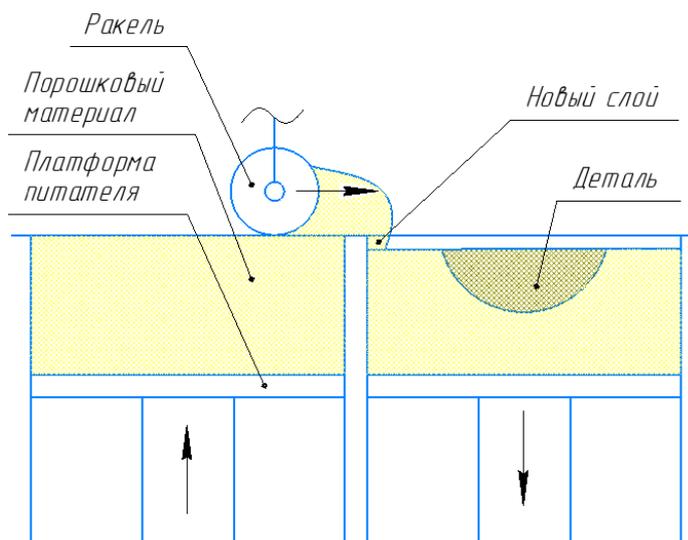


Рис. 1. Принципиальная схема процесса нанесения порошкового слоя
Fig. 1. Basic diagram of the process of applying a powder layer

в качестве нового слоя с помощью ракеля. Второй участок представляет собой твердую поверхность, имитирующую платформу построения, опущенную на высоту наносимого слоя. На данном участке находится имитация готового нанесенного слоя.

Нанесение металлического порошка на имитацию готового слоя производится тремя способами: 1) невращающимся роликом; 2) вращающимся роликом;

3) вращающимся роликом с подачей дополнительного порошка (рис. 3).

Определение и выбор параметров моделирования

Сначала необходимо выбрать скорость нанесения $V_{\text{рол}}$ и скорость вращения ролика $V_{\text{вр}}$. Скорость нанесения оказывает влияние на шероховатость порошкового слоя [12] (рис. 4), которая является одной из характеристик

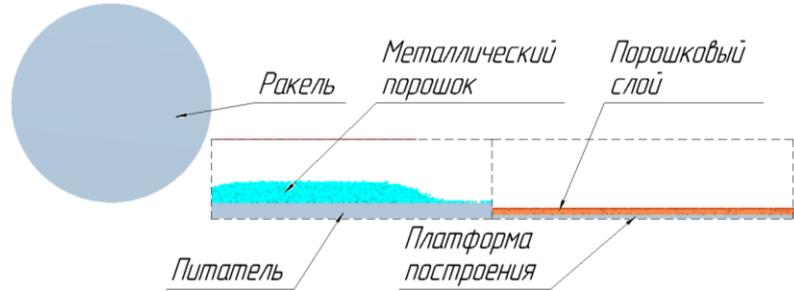


Рис. 2. Имитационная модель
Fig. 2. Simulation model

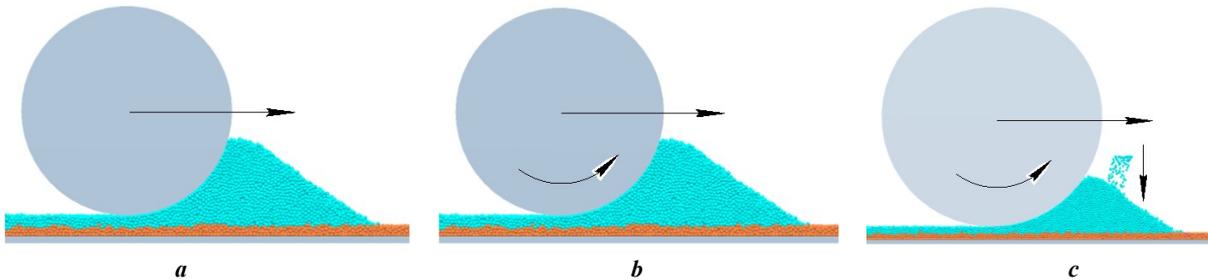


Рис. 3. Способы нанесения порошкового слоя:
a – невращающийся ролик; *b* – вращающийся ролик; *c* – вращающийся ролик с подачей дополнительного порошка
Fig. 3. Ways of applying a powder layer:
a – a non-rotating roller; *b* – a rotating roller; *c* – a rotating roller with additional powder feed

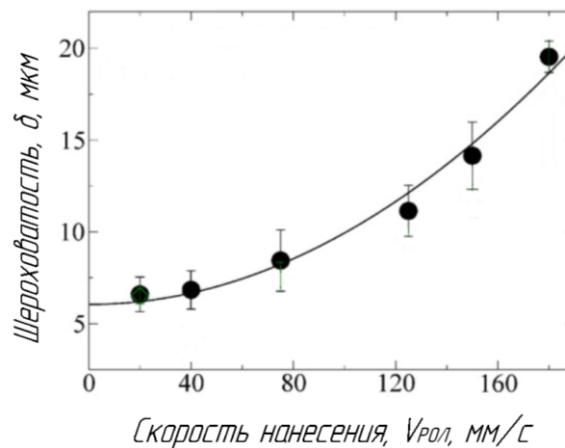


Рис. 4. Зависимость шероховатости слоя от скорости нанесения
Fig. 4. Dependence of layer roughness on application speed

качества порошкового слоя. Исходя из рис. 4 примем, что допустимая шероховатость поверхности нанесенного слоя $\delta=7,5$ мкм. Для получения поверхности порошкового слоя требуемого качества необходимо, чтобы линейная скорость ролика $V_{\text{ролл}}$ не превышала 60 мм/с. В исследованиях наиболее часто скорость нанесения выбиралась равной $V_{\text{ролл}}=50$ мм/с [10; 13; 14], что соответствует нашим требованиям. Скорость вращения $V_{\text{вр}}$ была выбрана равной 60 об/мин исходя из того, что скорость вращения ролика мало влияет на плотность порошкового слоя, однако при больших скоростях частички порошка начинают подбрасывать над поверхностью, что может привести к повреждению предыдущего слоя [15].

Для выявления оптимального способа нанесения порошкового слоя были проведены исследования имитационной модели с разными диаметрами роликов: невращающийся ролик $\varnothing 50$ мм, вращающийся ролик $\varnothing 30, 50, 70$ мм, вращающийся ролик с добавлением порошка $\varnothing 30, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300$ мм.

Диаметр частиц порошка, используемого в 3D-печати, варьируется от 20 до 100 мкм, однако имеющейся вычислительной мощности компьютера будет недостаточно для моделирования частиц такого маленького размера в короткие сроки, потому что при уменьшении диаметра частиц требуется также уменьшать временной шаг, и, следовательно, вычисления будут более затратными по време-

ни. В качестве порошкового материала была выбрана дробь ДСЛ 05 365 ГОСТ 11964-81.

Для исследования был выбран гранулометрический состав порошка, имеющий нормальное распределение со средним значением $m=0,5$ мм и среднеквадратичным отклонением $\sigma=0,05$, потому что более широкие диапазоны размеров частиц приводят к большим колебаниям плотности и шероховатости поверхности из-за неравномерного распределения частиц [16].

Компьютер, на котором проводилось моделирование, имеет процессор Intel Core i3-6100 3.70GHz, оперативную память 8 ГБ и видеокарту NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti.

Обработка результатов моделирования

Для измерения силы, действующей на ролик, вся зона исследования была поделена на слои. Высота каждого слоя равна диаметру частиц (0,5 мм). Из каждой отдельно выделенной области были получены данные о силе, действующей на ролик со стороны порошка по осям X и Z (рис. 5).

При анализе будем считать, что сила приложена к ролику по центру выделенного слоя. После расчета силы необходимо построить распределение силы по поверхности ролика. Для этого аналитически рассчитаем зависимость угла α от высоты слоя. Расчетная схема представлена на рис. 6.

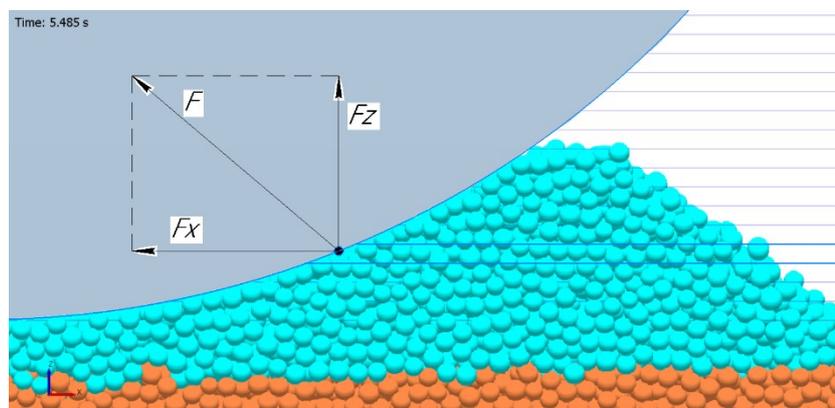


Рис. 5. Расчет общей силы давления порошка на ролик в каждом слое
 Fig. 5. Calculation of the total force of powder pressure on the roller in each layer

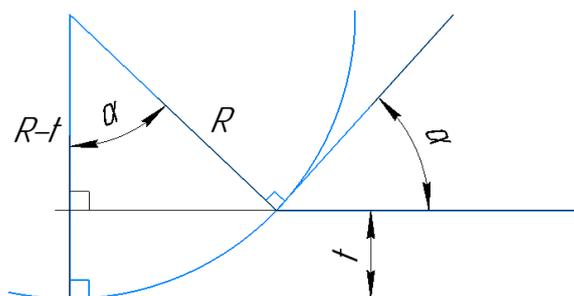


Рис. 6. Схема для расчета угла давления α . R – радиус ролика; t – высота слоя; α – угол давления
 Fig. 6. Scheme for calculating the pressure angle α . R – roller radius; t – layer height; α – pressure angle

Расчет зависимости угла α от высоты слоя:

$$\cos \alpha = \frac{R-t}{R} \rightarrow \alpha = \arccos \left(1 - \frac{t}{R} \right).$$

Теперь можно связать полученные значения силы с углом α и нанести их на ролик. В итоге будет получен график распределения силы по ролику.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из графиков зависимости общей силы, действующей на невращающийся ролик диаметром 50 мм, в зависимости от угла давления можно заметить, что сила, действующая на ролик, со временем становится меньше (рис. 7). Это объясняется тем, что количество порошка, наносимого роликом, со временем убывает.

Одним из наиболее важных параметров порошкового слоя является его плотность. Максимальное значение плотности порошкового слоя во время нанесения достигало $4,573 \text{ г/см}^3$, что соответствует уплотнению слоя на 1,61%. Согласно ГОСТ 11964-81 насыпная плотность стального порошка должна быть больше $4,2 \text{ г/см}^3$ при диаметре частичек 0,5 мм и плотности более $7,2 \text{ г/см}^3$ самих частичек. Полученный результат удовлетворяет данному условию, что говорит о близости характеристик моделируемого и реального порошков.

Из графиков зависимости общей силы, действующей на вращающийся ролик с диаметрами 30, 50 и 70 мм, в зависимости от угла давления видно, что при увеличении диаметра ролика увеличивается и значение пиковой силы (рис. 8). Это может увеличить износ ролика и уменьшить ресурс его работы. Для лучшего понимания значения данного графика (рис. 8) кривые были нанесены на ролик, что позволило получить визуальное представление о распределении силы по ролику (рис. 9). Анализируя максимальные значения плотности для исследуемых диаметров ролика, можно заметить явную зависимость, про-

являющуюся в увеличении плотности при увеличении диаметра ролика (таблица 1).

Из графиков зависимости общей силы, действующей на вращающийся ролик с дополнительной подачей порошка, от угла давления видно, что при увеличении диаметра ролика с 30 до 300 мм увеличивается значение пиковой силы и уменьшается угол давления (рис. 10). Из таблицы 2 видно, что при увеличении диаметра ролика увеличивается и плотность порошкового слоя, а после преодоления диаметра ролика $D=200 \text{ мм}$ она выходит на плато и перестает значительно расти.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Программный комплекс EDEM зарекомендовал себя как перспективное средство прогнозирования поведения сыпучих сред [17]. Результаты компьютерного моделирования методом дискретных элементов качественно соответствуют данным, полученным в экспериментах [18]. Основываясь на этом, можно считать полученные результаты моделирования соответствующими действительности.

Для выявления наилучшего способа нанесения было произведено сравнение графиков общей силы, действующей на ролик диаметром $D=50 \text{ мм}$, в зависимости от угла давления для каждого способа нанесения (рис. 11). В результате можно сделать вывод о том, что на невращающийся ролик действует наибольшая сила, а силы, действующие на вращающиеся ролики, незначительно отличаются. При сравнении максимальных значений плотности для исследуемых методов нанесения можно сделать вывод о том, что при использовании вращающегося ролика без добавления порошка можно достичь более плотного порошкового слоя (таблица 3).

По результатам анализа серии компьютерных моделирования нанесения порошкового слоя было установлено, что общая сила, действующая на ролики без дополнительной подачи порошка, со временем становится

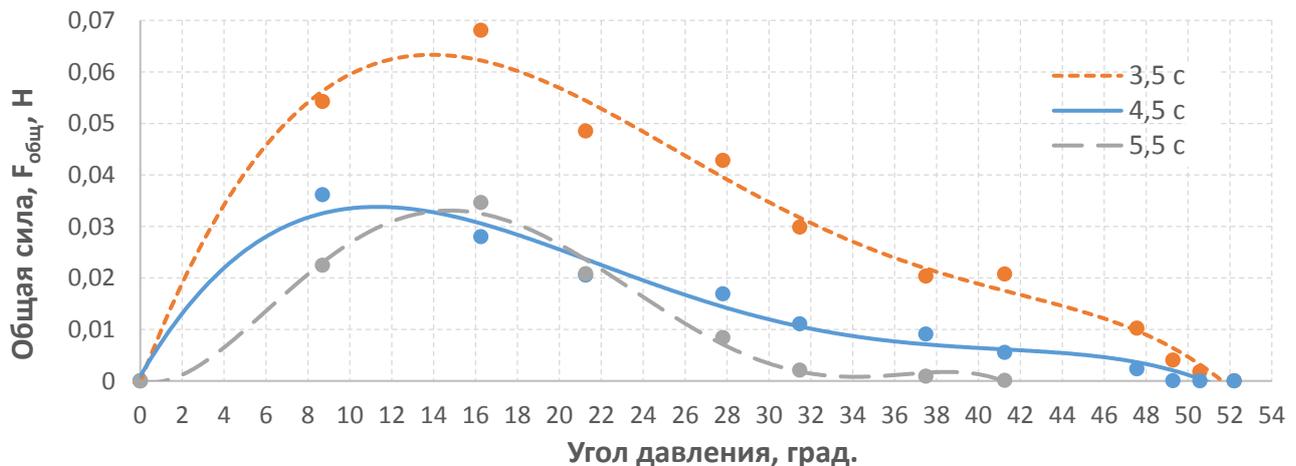


Рис. 7. Зависимость общей силы, действующей на невращающийся ролик диаметром 50 мм, от угла давления. Приведены три временные точки установившегося режима нанесения: начало – 3,5 с, центр – 4,5 с, конец – 5,5 с

Fig. 7. Dependence of the total force acting on a non-rotating roller with a diameter of 50 mm on the pressure angle. Three time points of the steady-state application mode are given: start – 3.5 s, centre – 4.5 s, end – 5.5 s

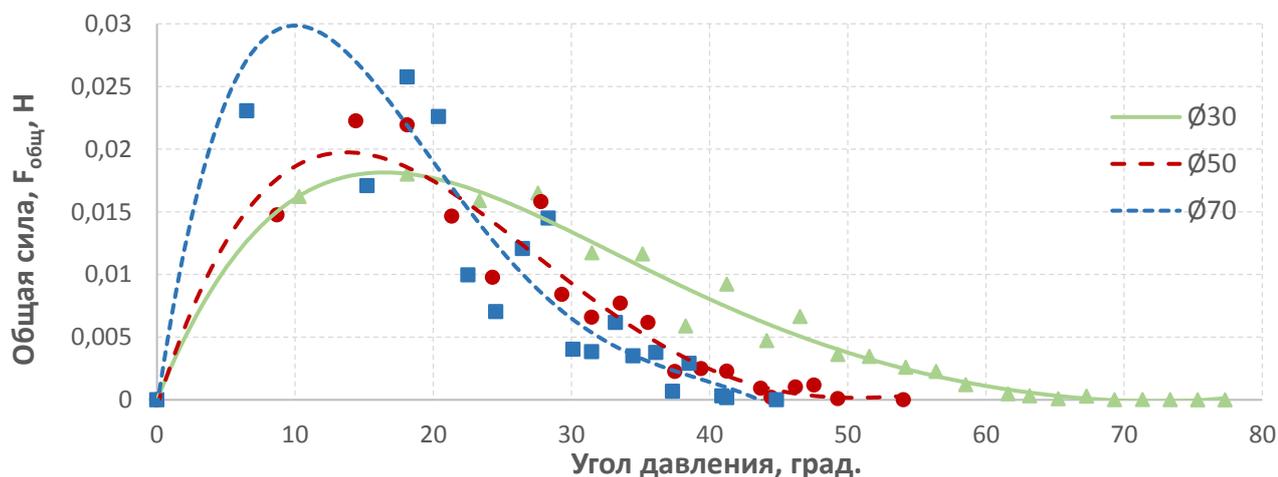


Рис. 8. Зависимость общей силы, действующей на вращающийся ролик, от угла давления.

Приведены графики для трех диаметров ролика: 30, 50, 70 мм

Fig. 8. Dependence of the total force acting on a rotating roller on the pressure angle.

Graphs are given for three roller diameters: 30, 50, 70 mm

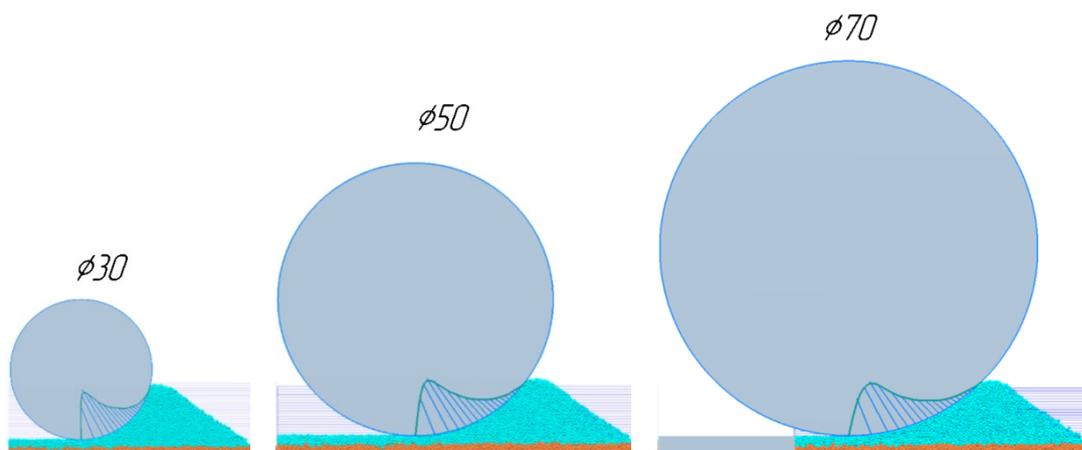


Рис. 9. Распределение силы по роликам с диаметрами 30, 50, 70 мм

Fig. 9. Force distribution over the rollers with the diameters of 30, 50, 70 mm

Таблица 1. Плотность и уплотнение порошкового слоя для вращающихся роликов

Table 1. Powder layer density and compaction for rotating rollers

Диаметр ролика, мм	Плотность слоя, г/см ³	Уплотнение слоя, %
Перед нанесением	4,500	–
30	4,692	4,26
50	4,740	5,35
70	4,796	6,59

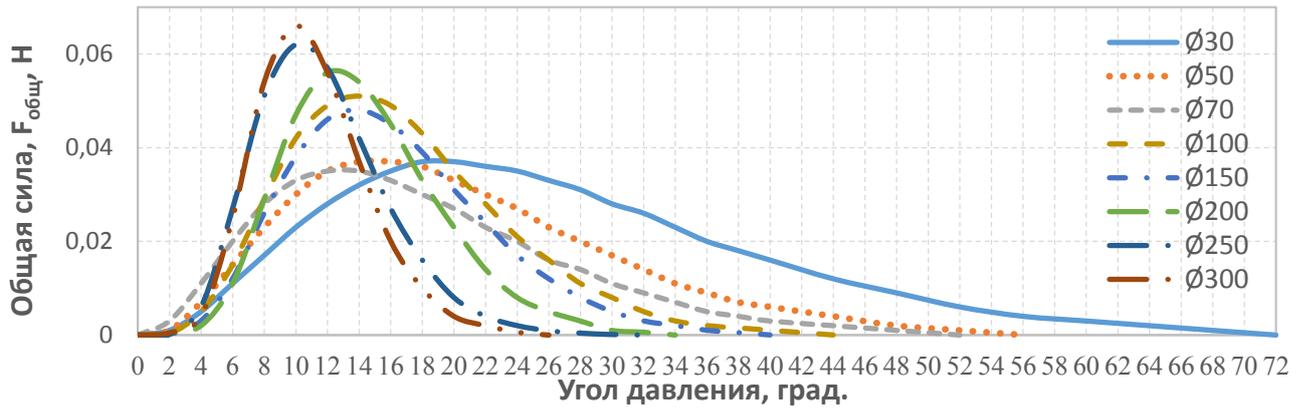


Рис. 10. Зависимость общей силы, действующей на вращающийся ролик с дополнительной подачей порошка, от угла давления. Приведены графики для восьми диаметров ролика: 30, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300 мм
Fig. 10. Dependence of the total force acting on a rotating roller with additional powder feed on the pressure angle. Graphs are given for eight roller diameters: 30, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300 mm

Таблица 2. Плотность и уплотнение порошкового слоя для вращающихся роликов с дополнительной подачей порошка
Table 2. Powder layer density and compaction for rotating rollers with additional powder feed

Диаметр ролика, мм	Плотность слоя, г/см ³	Уплотнение слоя, %
Перед нанесением	4,500	–
30	4,675	3,89
50	4,679	3,98
70	4,682	4,04
100	4,800	6,66
150	4,810	6,89
200	4,854	7,87
250	4,849	7,75
300	4,855	7,90

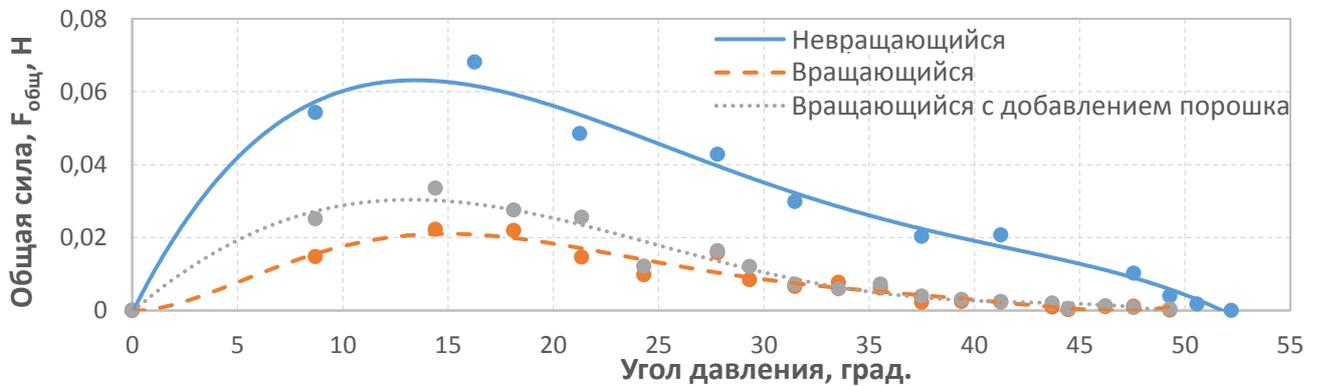


Рис. 11. Зависимость общей силы, действующей на невращающийся ролик, вращающийся ролик и вращающийся ролик с дополнительной подачей порошка, от угла давления. Приведены графики для ролика диаметром 50 мм
Fig. 11. Dependence of the total force acting on a non-rotating roller and a rotating roller with additional powder feed on the pressure angle. Graphs are given for the roller with a diameter of 50 mm

Таблица 3. Плотность и уплотнение порошкового слоя для различных способов нанесения
Table 3. Powder layer density and compaction for various methods of application

Способ нанесения	Диаметр ролика, мм	Плотность слоя, г/см ³	Уплотнение слоя, %
Перед нанесением	–	4,500	–
Невращающийся ролик	50	4,573	1,61
Вращающийся ролик		4,740	5,35
Вращающийся ролик с добавлением порошка		4,679	3,98

меньше. Это объясняется тем, что количество порошка, наносимого роликом, со временем убывает. Данный способ нанесения пригоден для 3D-принтеров с небольшой зоной построения. При увеличении зоны построения увеличивается и количество порошка, которое потребуется наносить. Здесь возникает две проблемы. Во-первых, высота порошковой насыпи при большой зоне построения может превысить диаметр ролика, что сделает невозможным формирование слоя. Во-вторых, перемещение большой массы порошка по предыдущему нанесенному слою может повредить его и отрицательно повлиять на качество конечной детали.

При нанесении слоя вращающимся роликом с дополнительной подачей порошка можно достичь постоянства сил, действующих на ролик, поскольку при нанесении перед роликом находится одинаковое количество порошка. Это может положительно повлиять на однородность наносимого слоя.

Установлено, что при увеличении диаметра ролика с 30 до 300 мм увеличивается и значение пиковой силы. Это может увеличить износ ролика и уменьшить ресурс его работы. При увеличении диаметра ролика увеличивается и плотность порошкового слоя на 7,9 %, а после преодоления диаметра ролика $D=200$ мм плотность порошкового слоя выходит на плато и перестает значительно расти.

Обобщая данные, можно сделать вывод о том, что на невращающийся ролик действует наибольшая сила, а силы, действующие на вращающиеся ролики, незначительно отличаются. Выявлено также, что вращающийся ролик без добавления порошка создает наиболее плотный слой и позволяет добиться уплотнения порошкового слоя на 5,35 %. Полученные данные противоречат исследованию, в результате которого выявлено, что невращающийся ролик создает на 5 % более плотный слой, чем вращающийся ролик [9]. Данное расхождение можно объяснить существенной разницей в скорости нанесения порошкового слоя (0,5 и 50 мм/с). При анализе влияния скорости нанесения на плотность порошкового слоя было установлено, что при увеличении скорости нанесения плотность порошкового слоя имеет тенденцию к линейному снижению [9].

В исследовании по оптимизации геометрии ракеля при сравнении оптимизированного профиля с роликом было отмечено, что рапель с оптимизированным профилем создавал незначительно большую плотность порошкового слоя (0,7 %) при скорости нанесения 50 мм/с [11].

В проведенном исследовании впервые было изучено влияние диаметра ролика на плотность порошкового слоя. Полученные данные свидетельствуют о том, что правильный выбор способа нанесения может существенно повлиять на качество напечатанных изделий.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Выявлены зависимости характеристик ролика на нанесение порошкового слоя. В частности, при увеличении диаметра ролика от 30 до 300 мм увеличивается и значение пиковой силы. При увеличении диаметра ролика на 7,9 % увеличивается и плотность порошкового слоя, а после преодоления диаметра ролика $D=200$ мм она выходит на плато и перестает значительно расти.

2. При исследовании способов нанесения выявлено, что на невращающийся ролик действует наибольшая сила, а силы, действующие на вращающиеся ролики, незначительно отличаются. Вращающийся ролик без добавления порошка создает наиболее плотный слой и позволяет добиться уплотнения порошкового слоя на 5,35 %.

3. При оптимизации нанесения порошкового слоя для 3D-принтеров с большой зоной построения рекомендуется выбирать нанесение слоя с помощью ролика с дополнительной подачей порошка, поскольку это помогает избежать перемещения большой массы порошка по предыдущему нанесенному слою, что положительно влияет на качество конечной детали. Это также может положительно повлиять на однородность наносимого слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Chen Hui, Chen Yuxiang, Liu Ying, Wei Qingsong, Shi Yusheng, Yan Wentao. Packing quality of powder layer during counter-rolling-type powder spreading process in additive manufacturing // International Journal of Machine Tools and Manufacturing. 2020. Vol. 153. Article number 103553. DOI: [10.1016/j.ijmachtools.2020.103553](https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2020.103553).
- Cao Liu. Numerical simulation of the impact of laying powder on selective laser melting single-pass formation // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. Vol. 141. P. 1036–1048. DOI: [10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.07.053](https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.07.053).
- Budding A., Vaneker T.H.J. New strategies for powder compaction in powder-based rapid prototyping tech-

- niques // *Procedia CIRP*. 2013. Vol. 6. P. 527–532. DOI: [10.1016/j.procir.2013.03.100](https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.03.100).
4. Li Ming, Wei Xingjian, Pei Zhijian, Ma Chao. Binder jetting additive manufacturing: observations of compaction-induced powder bed surface defects // *Manufacturing Letters*. 2021. Vol. 28. P. 50–53. DOI: [10.1016/j.mfglet.2021.04.003](https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2021.04.003).
 5. Nasato D.S., Briesen H., Pöschel T. Influence of vibrating recoating mechanism for the deposition of powders in additive manufacturing: Discrete element simulations of polyamide 12 // *Additive Manufacturing*. 2021. Vol. 48-A. Article number 102248. DOI: [10.1016/j.addma.2021.102248](https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102248).
 6. Zhang Jiangtao, Tan Yanqiang, Bao Tao, Xu Yangli, Jiang Shengqiang. Discrete element simulation for effects of roller's vibrations on powder spreading quality // *China Mechanical Engineering*. 2020. Vol. 31. P. 1717–1723. DOI: [10.3969/j.issn.1004-132X.2020.14.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-132X.2020.14.011).
 7. Chen Hui, Cheng Tan, Wei Qingsong, Yan Wentao. Dynamics of short fiber/polymer composite particles in paving process of additive manufacturing // *Additive Manufacturing*. 2021. Vol. 47. Article number 102246. DOI: [10.1016/j.addma.2021.102246](https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102246).
 8. Meyer L., Wegner A., Witt G. Influence of the ratio between the translation and contra-rotating coating mechanism on different laser sintering materials and their packing density // *Solid Freeform Fabrication 2017: Proceedings of the 28th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference Reviewed Paper*. Texas: University of Texas at Austin, 2017. P. 1432–1447.
 9. Cao Liu. Study on the numerical simulation of laying powder for the selective laser melting process // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019. Vol. 105. P. 2253–2269. DOI: [10.1007/s00170-019-04440-4](https://doi.org/10.1007/s00170-019-04440-4).
 10. Wang Lin, Yu Aibing, Li Erlei, Shen Haopeng, Zhou Zongyan. Effects of spreader geometry on powder spreading process in powder bed additive manufacturing // *Powder Technology*. 2021. Vol. 384. P. 211–222. DOI: [10.1016/j.powtec.2021.02.022](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.02.022).
 11. Haeri S. Optimization of blade type spreaders for powder bed preparation in Additive Manufacturing using DEM simulations // *Powder Technology*. 2017. Vol. 321. P. 94–104. DOI: [10.1016/j.powtec.2017.08.011](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.08.011).
 12. Parteli E.J.R., Poschel Th. Particle-based simulation of powder application in additive manufacturing // *Powder Technology*. 2016. Vol. 288. P. 96–102. DOI: [10.1016/j.powtec.2015.10.035](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.10.035).
 13. Wang L., Li E.L., Shen H., Zou R.P., Yu A.B., Zhou Z.Y. Adhesion effects on spreading of metal powders in selective laser melting // *Powder Technology*. 2020. Vol. 363. P. 602–610. DOI: [10.1016/j.powtec.2019.12.048](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.12.048).
 14. Yao Dengzhi, An Xizhong, Zhang Haitao, Yang Xiaohong, Zou Qingchuan, Dong Kejun. Dynamic investigation on the powder spreading during selective laser melting additive manufacturing // *Additive Manufacturing*. 2021. Vol. 37. P. 101–113. DOI: [10.1016/j.addma.2020.101707](https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101707).
 15. Zhang Jiangtao, Tan Yuanqiang, Bao Tao, Xu Yangli, Xiao Xiangwu, Jiang Shengqiang. Discrete element simulation of the effect of roller-spreading parameters on powder-bed density in additive manufacturing // *Materials*. 2020. Vol. 13. № 10. P. 2285–2300. DOI: [10.3390/ma13102285](https://doi.org/10.3390/ma13102285).
 16. Ya Zhao, Jia Wei Chew. Effect of lognormal particle size distributions on particle spreading in additive manufacturing // *Advanced Powder Technology*. 2021. Vol. 32. № 4. P. 1127–1144. DOI: [10.1016/j.apt.2021.02.019](https://doi.org/10.1016/j.apt.2021.02.019).
 17. Феоктистов А.Ю., Каменецкий А.А., Блехман Л.И., Васильков В.Б., Скрыбин И.Н., Иванов К.С. Применение метода дискретных элементов для моделирования процессов в горно-металлургической промышленности // *Записки Горного института*. 2011. Т. 192. С. 145–149. EDN: [ROWFBF](https://www.edn.ru/ROWFBF).
 18. Lee Y., Simunovic S., Gurnon A.K. Quantification of powder spreading process for metal additive manufacturing: technical report. Tennessee: OAK Ridge National Laboratory, 2019. 36 p.

REFERENCES

1. Chen Hui, Chen Yuxiang, Liu Ying, Wei Qingsong, Shi Yusheng, Yan Wentao. Packing quality of powder layer during counter-rolling-type powder spreading process in additive manufacturing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2020, vol.153, article number 103553. DOI: [10.1016/j.ijmactools.2020.103553](https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2020.103553).
2. Cao Liu. Numerical simulation of the impact of laying powder on selective laser melting single-pass formation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2019, vol.141, pp.1036–1048. DOI: [10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.07.053](https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.07.053).
3. Budding A., Vaneker T.H.J. New strategies for powder compaction in powder-based rapid prototyping techniques. *Procedia CIRP*, 2013, vol. 6, pp. 527–532. DOI: [10.1016/j.procir.2013.03.100](https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.03.100).
4. Li Ming, Wei Xingjian, Pei Zhijian, Ma Chao. Binder jetting additive manufacturing: observations of compaction-induced powder bed surface defects. *Manufacturing Letters*, 2021, vol. 28, pp. 50–53. DOI: [10.1016/j.mfglet.2021.04.003](https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2021.04.003).
5. Nasato D.S., Briesen H., Pöschel T. Influence of vibrating recoating mechanism for the deposition of powders in additive manufacturing: Discrete element simulations of polyamide 12. *Additive Manufacturing*, 2021, vol. 48-A, article number 102248. DOI: [10.1016/j.addma.2021.102248](https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102248).
6. Zhang Jiangtao, Tan Yanqiang, Bao Tao, Xu Yangli, Jiang Shengqiang. Discrete element simulation for effects of roller's vibrations on powder spreading quality. *China Mechanical Engineering*, 2020, vol. 31, pp. 1717–1723. DOI: [10.3969/j.issn.1004-132X.2020.14.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-132X.2020.14.011).
7. Chen Hui, Cheng Tan, Wei Qingsong, Yan Wentao. Dynamics of short fiber/polymer composite particles in paving process of additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 2021, vol. 47, article number 102246. DOI: [10.1016/j.addma.2021.102246](https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102246).
8. Meyer L., Wegner A., Witt G. Influence of the ratio between the translation and contra-rotating coating mechanism on different laser sintering materials and their packing density. *Solid Freeform Fabrication 2017: Proceedings of the 28th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference Reviewed Paper*. Texas, University of Texas at Austin Publ., 2017, pp. 1432–1447.
9. Cao Liu. Study on the numerical simulation of laying powder for the selective laser melting process. *The International Journal of Advanced Manufacturing*

- ing Technology, 2019, vol. 105, pp. 2253–2269. DOI: [10.1007/s00170-019-04440-4](https://doi.org/10.1007/s00170-019-04440-4).
10. Wang Lin, Yu Aibing, Li Erlei, Shen Haopeng, Zhou Zongyan. Effects of spreader geometry on powder spreading process in powder bed additive manufacturing. *Powder Technology*, 2021, vol. 384, pp. 211–222. DOI: [10.1016/j.powtec.2021.02.022](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.02.022).
 11. Haeri S. Optimization of blade type spreaders for powder bed preparation in Additive Manufacturing using DEM simulations. *Powder Technology*, 2017, vol. 321, pp. 94–104. DOI: [10.1016/j.powtec.2017.08.011](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.08.011).
 12. Parteli E.J.R., Poschel Th. Particle-based simulation of powder application in additive manufacturing. *Powder Technology*, 2016, vol. 288, pp. 96–102. DOI: [10.1016/j.powtec.2015.10.035](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.10.035).
 13. Wang L., Li E.L., Shen H., Zou R.P., Yu A.B., Zhou Z.Y. Adhesion effects on spreading of metal powders in selective laser melting. *Powder Technology*, 2020, vol. 363, pp. 602–610. DOI: [10.1016/j.powtec.2019.12.048](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.12.048).
 14. Yao Dengzhi, An Xizhong, Zhang Haitao, Yang Xiaohong, Zou Qingchuan, Dong Kejun. Dynamic investigation on the powder spreading during selective laser melting additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, 2021, vol. 37, pp. 101–113. DOI: [10.1016/j.addma.2020.101707](https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101707).
 15. Zhang Jiangtao, Tan Yuanqiang, Bao Tao, Xu Yangli, Xiao Xiangwu, Jiang Shengqiang. Discrete element simulation of the effect of roller-spreading parameters on powder-bed density in additive manufacturing. *Materials*, 2020, vol. 13, no. 10, pp. 2285–2300. DOI: [10.3390/ma13102285](https://doi.org/10.3390/ma13102285).
 16. Ya Zhao, Jia Wei Chew. Effect of lognormal particle size distributions on particle spreading in additive manufacturing. *Advanced Powder Technology*, 2021, vol. 32, no. 4, pp. 1127–1144. DOI: [10.1016/j.appt.2021.02.019](https://doi.org/10.1016/j.appt.2021.02.019).
 17. Feoktistov A.Yu., Kamenetskiy A.A., Blekhman L.I., Vasilkov V.B., Skryabin I.N., Ivanov K.S. The application of discrete element method to mining and metallurgy process modeling. *Zapiski Gornogo instituta*, 2011, vol. 192, pp. 145–149. EDN: [ROWFBF](https://www.edn.ru/ROWFBF).
 18. Lee Y., Simunovic S., Gurnon A.K. *Quantification of powder spreading process for metal additive manufacturing: technical report*. Tennessee: OAK Ridge National Laboratory Publ., 2019. 36 p.

Influence of roller characteristics on powder layer applying in additive technologies

Valery M. Bogdanov, postgraduate student

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg (Russia)

*E-mail: bogdanov.vm@edu.spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6865-3579>

Received 08.05.2024

Revised 18.09.2024

Accepted 07.11.2024

Abstract: In the study and analysis of additive technologies, special attention is paid to increasing the productivity and quality of printed products. However, to improve the 3D printing productivity, it is impossible to increase simply the speed of the squeegee without changing its shape or type. In this case, the quality of the powder layer may suffer, which will lead to a deterioration in the qualities of the final part. To study the effect of roller characteristics on the powder layer deposition, a series of computer simulations of simulation models was carried out. The effect of roller characteristics on the powder layer applying, was assessed, for roller diameters of 30, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300 mm. The simulation was carried out with three application methods: by a rotating and non-rotating roller, as well as by a rotating roller with additional powder feed. It was determined that when applying a layer with a rotating roller with additional powder feed, it is possible to achieve constancy of the forces acting on the roller. This can positively affect the homogeneity of the applied layer. The application of a layer by a rotating roller with additional powder feed is most suitable for 3D printers with a large print area. This method allows avoiding the movement of a large mass of powder over the previous layer, which positively influences the quality of the final part. The study revealed the influence of roller characteristics on the deposition of a powder layer. In particular, with an increase in the roller diameter from 30 to 300 mm, the peak force value also increases. With an increase in the roller diameter by 7.9 %, the powder layer density also increases. It was found that the non-rotating roller is affected by the greatest force, and the forces acting on the rotating rollers differ slightly. A rotating roller, without adding powder, creates the densest layer and allows achieving a powder layer compaction of 5.35 %.

Keywords: roller characteristics; powder layer; additive technologies; additive manufacturing; roller diameter; powder layer levelling; powder layer applying; powder layer density; squeegee.

For citation: Bogdanov V.M. Influence of roller characteristics on powder layer applying in additive technologies. *Frontier Materials & Technologies*, 2024, no. 4, pp. 9–18. DOI: [10.18323/2782-4039-2024-4-70-1](https://doi.org/10.18323/2782-4039-2024-4-70-1).