

УДК 621.375.826.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗОПОРОШКОВОГО ПОТОКА С ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ПРИ КОАКСИАЛЬНОЙ ПОДАЧЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ И РАЗМЕРАМИ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Алексей Анатольевич Дренин

*Студент 4 курса*

*кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»*

*Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана*

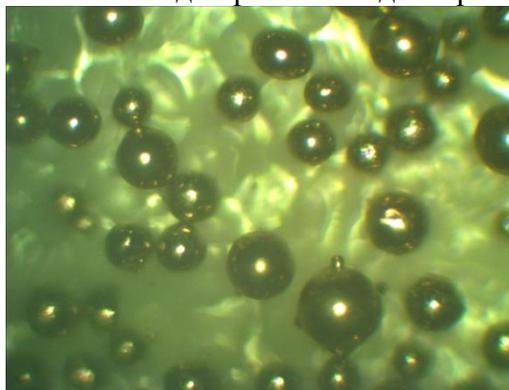
*Научный руководитель: Р.С. Третьяков, к.т.н., ассистент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

Лазерная наплавка становится процессом вызывающим большой интерес отраслей, для которых характерна высокая стоимость изготовления деталей. Кроме того, эта технология вводит новые производственные понятия, такие как прямое изготовление деталей, избегая, таким образом, чрезмерного отхода материала в виде стружки, присущей традиционным процессам обработки. Процесс основан на использовании высококонцентрированного источника – лазерного луча, для создания ванны расплава на поверхности подложки, в которую вводится присадочный материал в виде порошка. В связи с тем, что лазерное излучение проходит через газопорошковую струю, его часть теряется, что довольно заметно сказывается на энергетике процесса. Таким образом, при отработке технологии необходимо знать эффективную мощность, которая достигает поверхности основного материала.

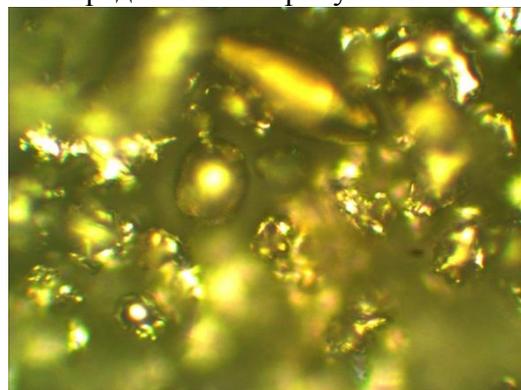
В этой области проходит взаимодействие между лазерным лучом и присадочным материалом с поглощением значительного количества энергии порошковыми частицами. В результате, мощность лазерного излучения, вводимая в подложку, может отличаться от первоначальной существенно. Кроме того, сами порошковые частицы могут достигать подложки как в нагретом, так и в расплавленном состоянии, что влияет на стабильность формирования покрытия.

В данной работе для исследования использовались порошки с малым разбросом размеров частиц, устойчивые к высоким температурам, никелевый сплав ПГСР-4 и нержавеющей стали SS 410 L, SS 316 L.

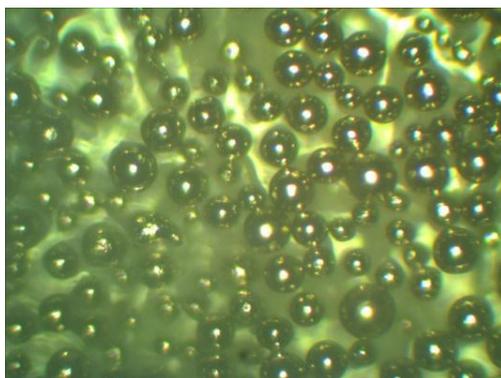
Внешний вид порошков под микроскопом представлен на рисунке 1.



а) Частицы порошка нержавеющей стали SS 316 L, увеличение 100 крат



б) Частицы порошка нержавеющей стали SS 410 L, увеличение 400 крат



в) Частицы порошка никелевого сплава ПГСР-4, увеличение 100 крат

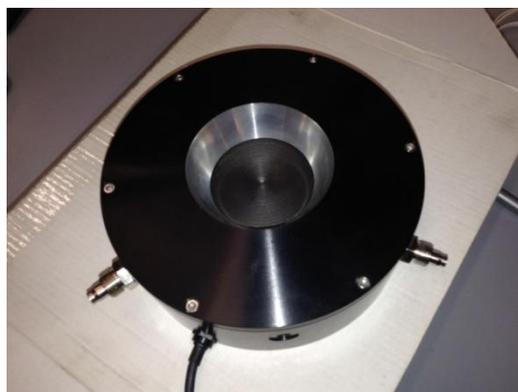
Рис. 1. Внешний вид частиц порошков

Как видно, частицы порошков (Рис. 1 а,в) представляют из себя частицы с минимальным отклонением от сферичности, разброс по фракциям велик, а частицы порошка на рис. 1 б представляют из себя овальные частицы неправильной формы. Различия в форме частиц обусловлены способом получения порошка. По сертификату, фракционный состав порошка SS316 составляет от 20 до 60 мкм, однако для стабилизации расхода и потока при измерениях фракционный состав корректировался: производился отсев более мелких фракций. В результате измерения проводились на порошке с размерами частиц от 20 до 40 мкм, от 40 до 50 мкм, от 50 до 60 мкм и от 50 до 100 мкм (для порошка ПГСР-4).

Измерения проводились на экспериментальном стенде для проведения процесса лазерной наплавки, оборудованным иттербиевым волоконным лазером ЛС-4-К, порошковым питателем PF 2/2(Рис. 2 а) и коаксиальным соплом. Мощность лазерного излучения оценивалась с помощью измерителя фирмы Ophir(Рис. 2 б).



а)



б)

Рис. 2. а - порошковый питатель PF 2/2;

б – измеритель мощности фирмы Ophir;

Порошковые материалы транспортируются инертным газом, и сводятся в точку с помощью конического коаксиального сопла (Рис. 3). Для создания защитной атмосферы и транспортировки порошковых частиц в зону обработки используется инертный газ повышенной чистоты – аргон ГОСТ 10157-79.

Защитный газ подается вдоль центральной оси сопла и защищает оптическую систему от частиц порошка и ванну расплава от окисления, а транспортирующий газ доставляет порошок от питателя до зоны лазерной обработки.[1]

На расстоянии 16 мм от среза сопла, где происходит фокусировка газопорошкового потока, установлено устройство сдува порошка в горизонтальном направлении, что связано с защитой измерительного оборудования и не влияет на общую картину (Рис. 3).

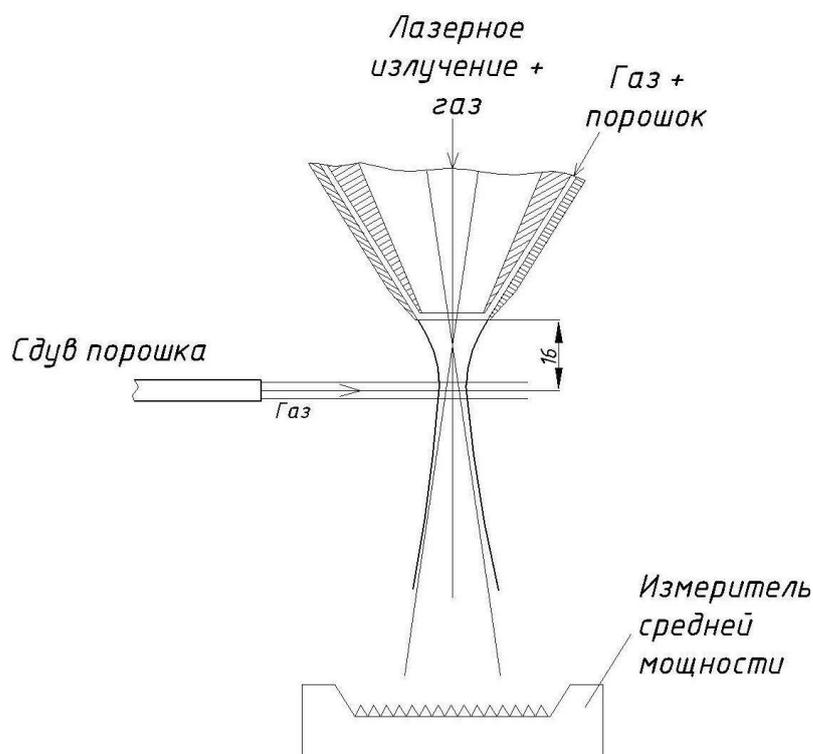


Рис. 3. Схема процесса измерения энергии лазерного излучения.

Перед исследованием порошок просеивался на сите при помощи установки РЛ-1 для получения частиц с диапазонами фракционного состава 60-50 мкм, 50-40 мкм, 40-20 мкм.

Предлагаемый метод измерения основан на следующих допущениях:

1. Тенью между частицами порошка пренебрегаем, т.к. концентрация порошка мала по сравнению с объемом транспортирующего газа.
2. Скорость частиц на вылете из сопла зависит от расхода транспортирующего газа в исследуемом диапазоне линейно, кроме того, от вылета сопла до достижения подложки скорость частиц остается постоянной. [2]
3. Свойства порошковых материалов рассматриваются как независимые от температуры, плотность и размер частиц постоянен.

Исследование различных по форме и размерам порошковых материалов необходимо чтобы установить, какая форма и размер частиц меньше всего взаимодействует с лазерным излучением.

В процессе проведения эксперимента расходы газов зафиксированы (таблица 1).

Таблица 1.

Расходы технологических газов во время исследования.

Тип инертного газа	Расход газа, л/мин	
	Несущий газ	Защитный газ
Аргон	10	5
	12	
	20	

Для нахождения зависимости мощности лазерного излучения от расхода порошковых частиц и от расхода транспортирующего газа был проведен эксперимент, со следующими изменяемыми параметрами: расходом транспортирующего газа (10-20 л/мин), расходом порошковых частиц (0-20 г/мин с шагом 4 г/мин) и размерами частиц (60-20 мкм) для каждого из исследуемых порошков.

После проведения опытов выполнена статическая обработка результатов. На рисунках 4-7 приведены графики зависимости мощности лазерного излучения от расхода порошковых частиц и от размера частиц для каждого из типов порошков, а также зависимость мощности от формы порошковых частиц.

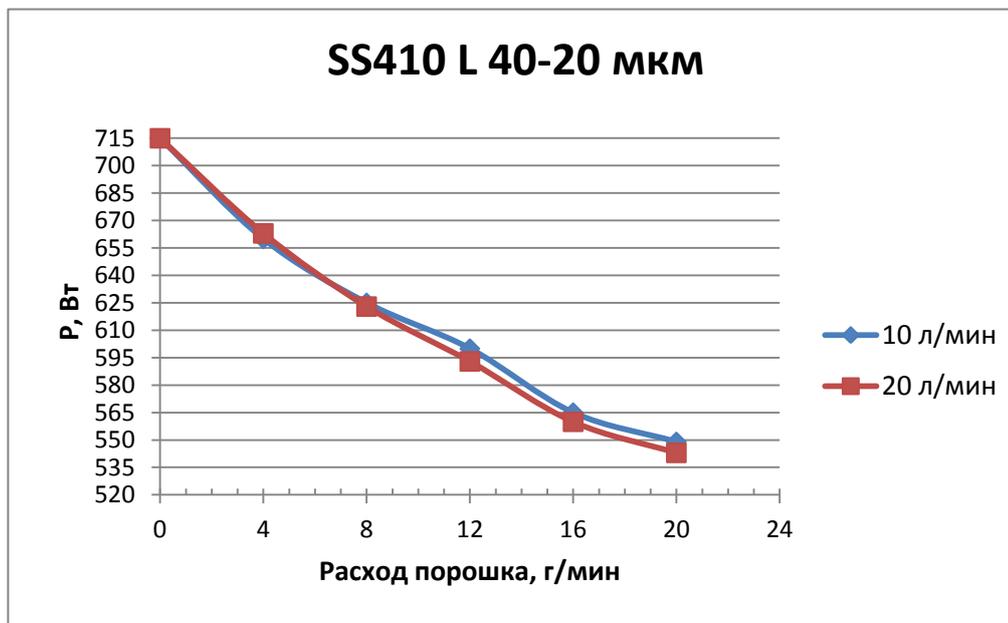


Рис. 4. Зависимость мощности лазерного излучения от расхода порошковых частиц SS410 L 40-20 мкм при различных значениях расхода транспортирующего газа.

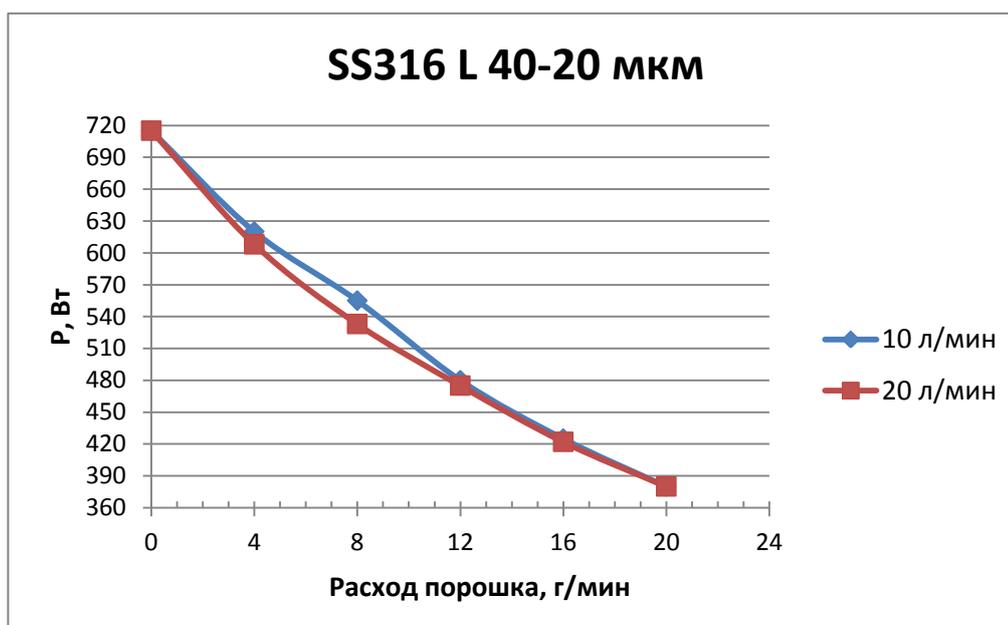


Рис. 5. Зависимость мощности лазерного излучения от расхода порошковых частиц SS316 L 40-20 мкм при различных расходах транспортирующего газа.

Из приведенных графиков видно, что расход транспортирующего газа практически не влияет на рассеивание мощности лазерного излучения, что объясняется постоянным количеством порошковых материалов в зоне взаимодействия лазерный луч-порошок. Также можно говорить, что сферические частицы порошка SS316 L лучше рассеивают мощность лазерного излучения по сравнению с овальными частицами неправильной формы порошка SS410 L, что объясняется большей площадью поглощения сферических частиц по сравнению с овальными частицами того же размера. Но в работе [3] показано, что использование частиц с формой, близкой к сферической, позволит снизить потери материала, улучшить равномерность подачи порошка и увеличить производительность процесса за счет формирования тонкой перетяжки в области фокусирования и за счет более схожего поведения частиц в потоке газа.

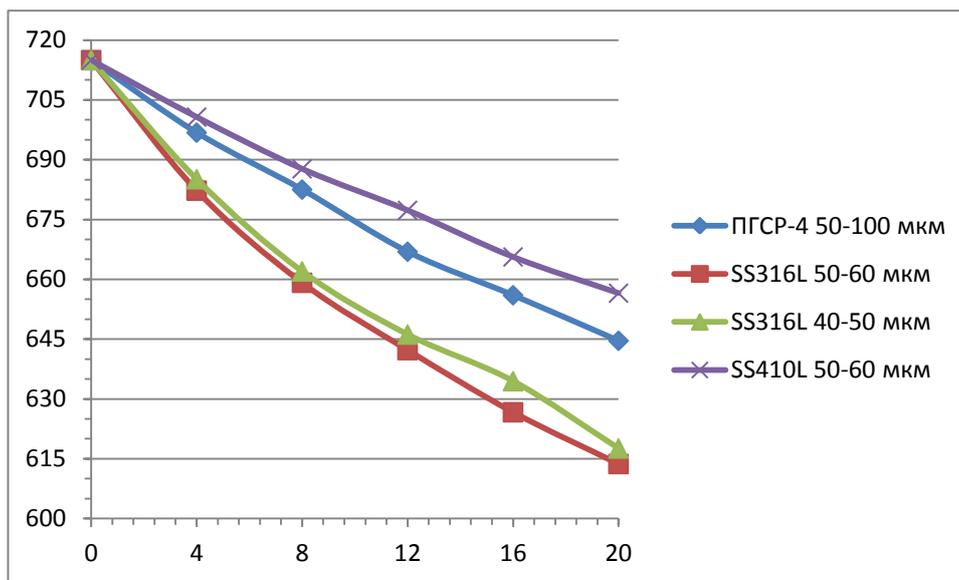


Рис. 6. Зависимость мощности лазерного излучения от расхода порошковых частиц различных размеров для каждого типа порошков.

Существенную роль в рассеивании мощности лазерного излучения играет расход порошковых частиц. Частицы порошка взаимодействуя с лазерным лучом поглощают часть энергии. Чем большее количество частиц взаимодействует с лазерным излучением, тем меньшая мощность доходит до подложки.

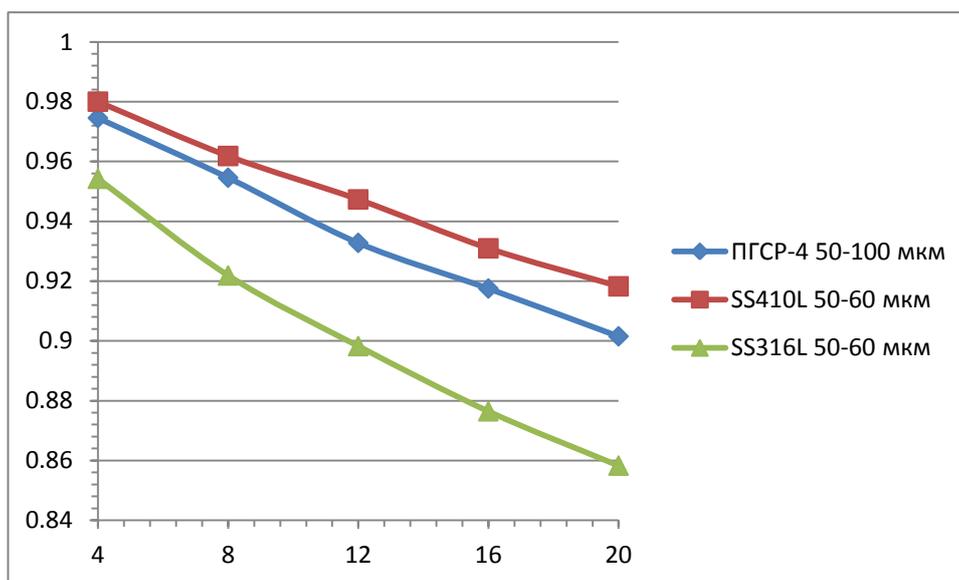


Рис. 7. Зависимость доли мощности лазерного излучения вводимой в подложку от расхода транспортирующего газа при различных размерах порошковых частиц

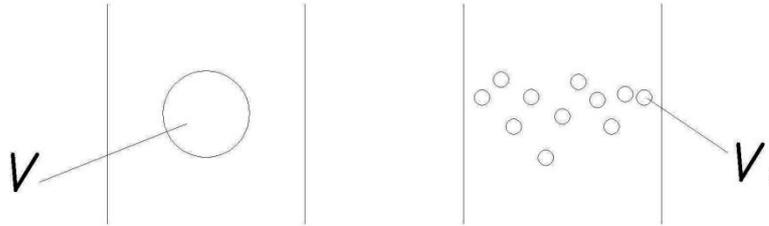


Рис. 8. Схема взаимодействия лазерного излучения с частицами порошка разных размеров при  $V=V_1*N$ ; где  $N$  – количество мелких частиц;  $V$ ,  $V_1$  – объем большой и маленьких частиц соответственно.

На рисунках 6-7 заметно, что относительно мелкие частицы сферического порошка лучше рассеивают лазерное излучение, что объясняется большей площадью поглощения по сравнению с частицами того же объема, но большего размера (Рис. 8).

Проведенные эксперименты показывают, что с увеличением расхода порошка доля излучения, вводимая в подложку, падает прямолинейно расходу в среднем 100 Вт на 7 г порошка.

Экспериментально показано, что с увеличением фракционного состава порошка доля энергии, поглощенная порошком, уменьшается, причем для сферических частиц эта доля в среднем уменьшается на 4%.

Экспериментально доказано, что расход транспортирующего газа практически не оказывает влияние на долю поглощенной энергии частицами, что объясняется постоянным количеством порошковых материалов в зоне взаимодействия лазерный луч-порошок.

*Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 13-08-13126*

## Литература

1. *Toyserkani E., Khajepour A., Corbin S.* Laser cladding. Boca Raton: CRS Press, 2005. 280 p.
2. *Третьяков Р.С.* Технологические особенности процесса лазерной модификации поверхностей с коаксиальной подачей порошковых материалов. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014 г.
3. *Новиченко Д. Ю.* Разработка и исследование процесса прямого лазерного изготовления детали из композиционного материала на основе стали и карбида титана. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011 г.