

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ГАЗОПОРОШКОВОГО ПОТОКА И ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ОДИНОЧНЫХ ВАЛИКОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ

Алеся Константиновна Шелестова

Студентка 4 курса,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет

Научный руководитель: П.Е. Самарин
Ассистент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

1. Введение

Лазерная наплавка – один из ведущих способов восстановления поверхности деталей. Для осуществления процесса наплавки необходимо учитывать множество факторов, влияющих на качество наплавленного слоя – валика. Помимо лазерного излучения необходимо учитывать потоки газопорошковых смесей, взаимодействие частиц с материалами технологической оснастки и т.д. [1] Также важным является дальнейшее исследование свойств полученных валиков.

При наплавке основной материал оплавляется, поэтому наплавленный валик отличается по химическому составу от наплавочного материала. Это имеет место даже в верхних валиках, где влиянием перемешивания можно пренебречь [2]. Однако, для получения качественного многослойного покрытия следует учитывать этот фактор.

Для характеристики наплавленного валика используют такие геометрические параметры как: ширина наплавленного слоя W , высота наплавленного слоя H и глубина подплавления h (рисунок 1). Для оценки доли основного металла в наплавленном валике используют коэффициент перемешивания:

$$D = \frac{F_O}{F_H + F_O}, \quad (1)$$

где F_O – площадь подплавленного основного металла, F_H – площадь наплавленного металла.

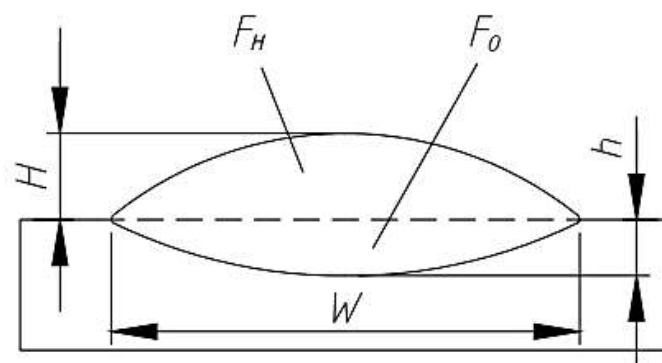


Рисунок 1. Геометрические параметры наплавленного валика: F_O – площадь подплавленного основного металла; F_H – площадь наплавленного металла; H – высота наплавленного слоя; h – глубина подплавления; W – ширина наплавленного слоя

Для получения высокого качества покрытия необходимо, чтобы коэффициент перемешивания был достаточно низким [3].

В данной работе было исследовано влияние положения фокуса газопорошкового потока при использовании различных насадок для наплавки на коэффициент перемешивания. Для исследования использовали наплавочный порошковый материал из нержавеющей стали и алюминиевого сплава.

2. Исследование

Для проведения исследования были выбраны наиболее применяемые для восстановления деталей порошковые материалы: нержавеющая сталь SS316L и алюминиевый сплав Al12Si. Их характеристики приведены в таблице 1. Для стабилизации расхода и потока порошка производили отсев более мелких фракций (40-60 мкм). Внешний вид частиц порошка представлен на рисунках 2 и 3. В качестве подложки были использованы сталь Ст3 (образец №1) и алюминиевый сплав АМГ 6 (образец №2) для соответствующих порошков.

Таблица 1. Параметры порошков

Марка	Размер частиц	Плотность материала, г/см ³	Форма частиц
SS 316 L	-63 +40	8,2	Сферические
Al12Si	-80 +50	2,5	Овальные, с сателлитами

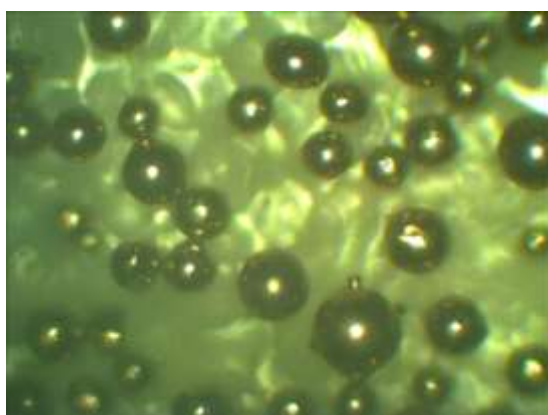


Рисунок 2. Частицы порошка стали SS 316 L, увеличение 100 крат

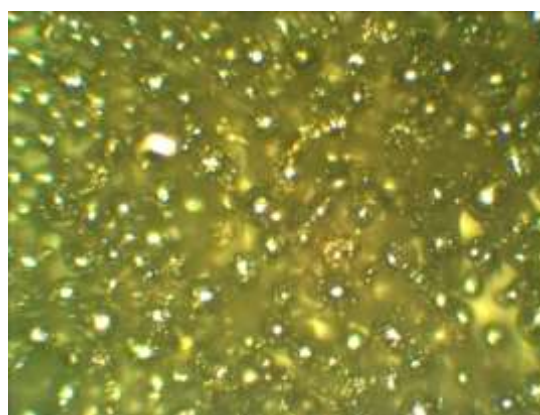


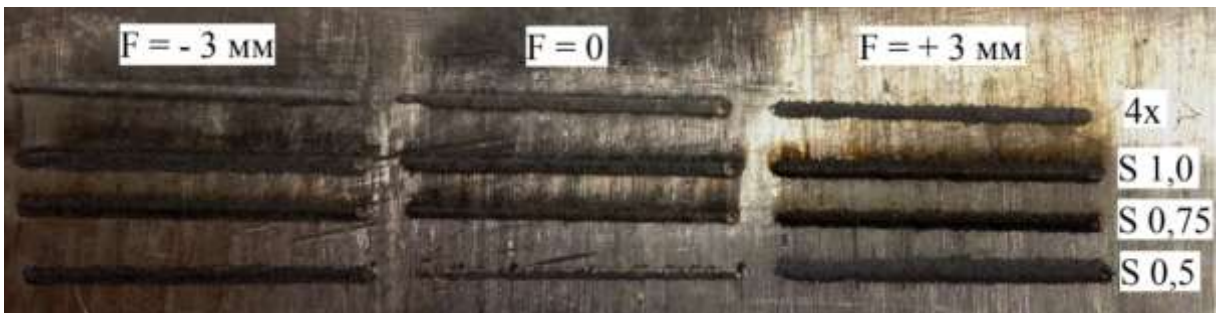
Рисунок 3. Частицы порошка алюминиевого сплава Al12Si

В данной работе использовалось следующее оборудование: порошковый питатель GTV, 4-кВт иттербиевый волоконный лазер, наплавочная голова YC 52, технологические насадки в виде конусов с различными диаметрами выходных отверстий. Лазерный луч был сфокусирован над поверхностью подложки в пятно диаметром 2 мм с плотностью мощности $q = 3,2 \cdot 10^4$ Вт/см².

На подложку были нанесены серии валиков (рисунок 4): в фокусе газопорошкового потока, с заглублением потока на 3 мм и с приподнятым на 3 мм фокусом относительно подложки (рисунок 5). Причем для каждого положения фокуса были применены по 4 насадки для подачи порошка: четырехструйная и 3 вида коаксиальных (рисунок 6).



а)



б)

Рисунок 4. Образец №1 (а), образец №2 (б)

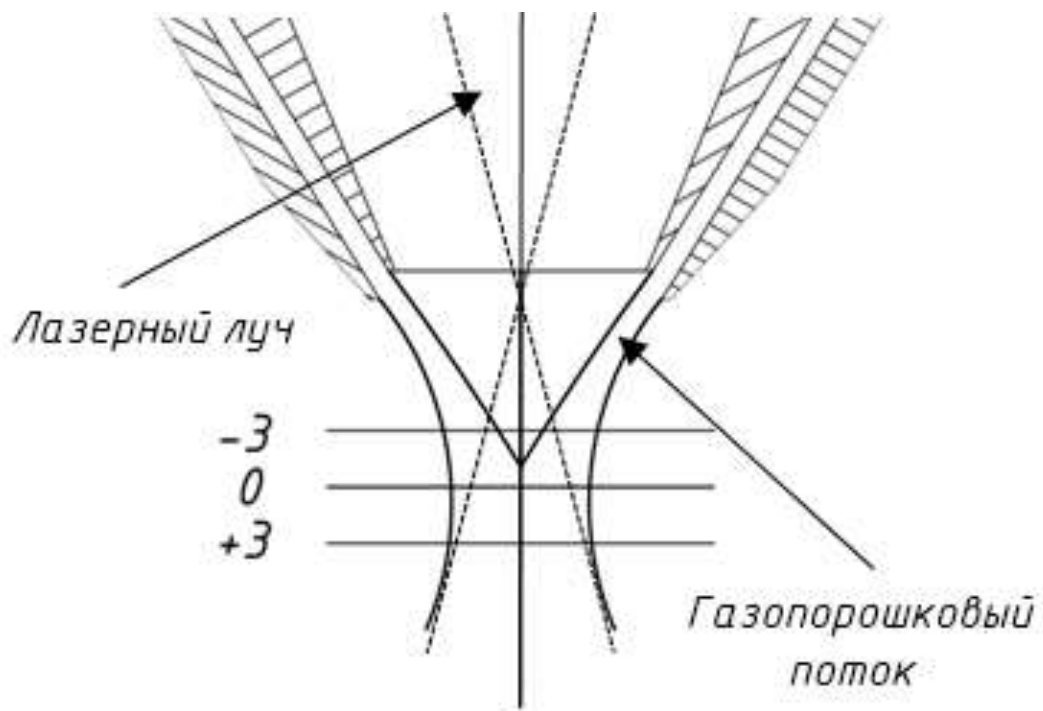


Рисунок 5. Схема положения фокуса газопорошкового потока относительно подложки: с заглублением фокуса ($F = -3 \text{ мм}$), с приподнятым фокусом ($F = +3 \text{ мм}$) и в фокусе газопорошкового потока ($F = 0$)

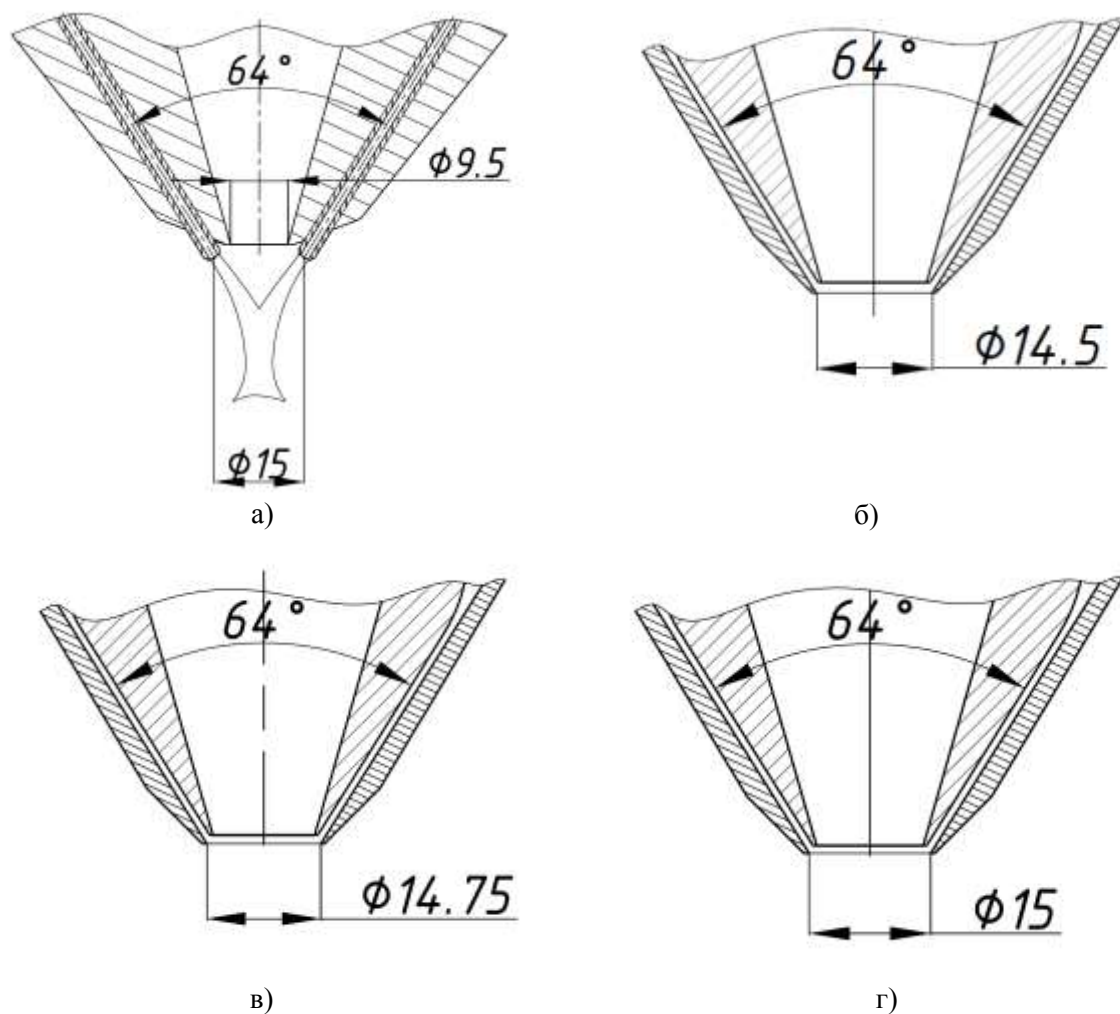


Рисунок 6. Эскизы рабочей части сопла с различными насадками для: четырехструйной подачи порошка (а) и коаксиальной подачи порошка (б - S 0,5; в - S 0,75; г - S 1,0)

В зависимости от положения фокуса газопорошкового потока относительно подложки на обрабатываемую поверхность попадает порошок, либо попавший под излучение лазера и нагретый им, либо не попавший под излучение и доставленный непосредственно в ванну расплава в не нагретом состоянии. В случае с "заглублением" фокуса потока порошок попадает в ванну не нагретым, а луч значительно подплавляет основу. В случае с "приподнятым" фокусом порошок попадает в ванну расплава нагретым, а глубина подплавления основы резко снижается. В результате положение фокуса в общем случае влияет как на форму полученного валика, так и на глубину подплавления основы.

Исследование формы и размеров полученных валиков, а также твердости наплавленного материала проводилось металлографическим методом. Для исследований образцы были разрезаны в поперечном сечении валиков, механически отполированы и химически протравлены. Твердость измерялась по методу Виккерса на микротвердомере с шагом 0,05 мм от поверхности валиков.

3. Результаты исследований

3.1. Формообразование валиков и коэффициент перемешивания

На рисунках 7-10 представлены результаты исследований образца №1, на рисунках 11-14 - образца №2.



а) $F = +3$ мм



а) $F = +3$ мм



б) $F = 0$



б) $F = 0$



в) $F = -3$ мм

Рисунок 7. Насадка S 0.5



в) $F = -3$ мм

Рисунок 8. Насадка S 0.75



а) $F = +3$ мм



б) $F = 0$

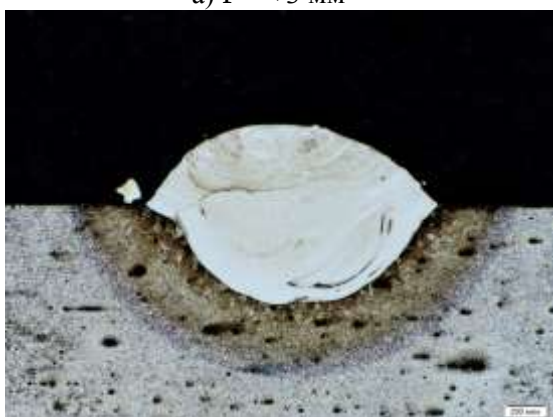


в) $F = -3$ мм

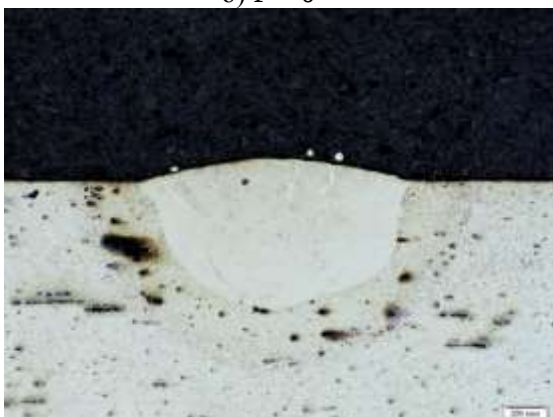
Рисунок 9. Насадка S 1.0



а) $F = +3$ мм



б) $F = 0$



в) $F = -3$ мм

Рисунок 10. Четырехструйная насадка

Из рисунков 7-10 видно, что с "заглублением" фокуса газопорошкового потока глубина подплавления основы растет на всех видах технологических насадок. Наибольшая глубина подплавления, не зависимо от заглубления фокуса газопорошкового потока, проявляется на четырехструйной насадке, поскольку газопорошковый поток на ней наиболее широкий и поглощение излучения порошком минимально. Наиболее высокий валик получен на сопле с минимальным диаметром выходного отверстия (S 0.5, см. рисунок 7,б). Несимметричные валики (рисунок 8, а) и б) и рисунок 9, а) и б)) получены по причине несоосности газопорошкового потока на исследованных насадках.

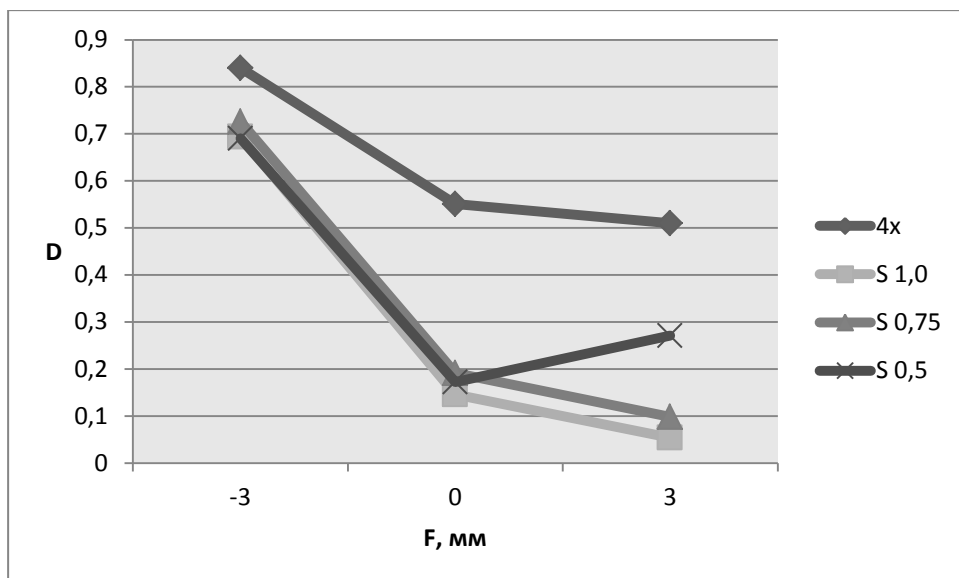


Рисунок 11. Коэффициент перемешивания D образца №1

Из рисунка 11 видно, что минимальный коэффициент перемешивания получен при использовании насадки S 1,0. Но следует учесть, что форма валиков в этом случае асимметрична. Таким образом, с учетом необходимости получения наименьшего коэффициента перемешивания и симметричной формы валика для наплавки валиков из нержавеющей стали SS 316 L на подложку из стали Ст3 следует выбирать технологическую насадку S 0,5 с расположением фокуса газопорошкового потока на поверхности подложки.

Характер изменения формы валиков из алюминиевого сплава не одинаков для всех технологических насадок. Так, из рисунков 12-15 видно, что с "заглублением" фокуса газопорошкового потока глубина подплавления растет при использовании насадок S 1,0 и четырехструйной. При использовании насадок S 0,5 и S 0,75 глубина подплавления максимальна в положении фокуса газопорошкового потока на поверхности подложки. Валик с максимальной высотой наплавленного слоя был получен при использовании насадки с максимальным диаметром выходного отверстия (S 1,0, см. рисунок 14,а).

Пористость при наплавке четырехструйной насадкой вызвана неэффективной подачей легкого алюминиевого порошка. Также при использовании этой насадки в любом положении фокуса газопорошкового потока валики из алюминиевого сплава имеют минимальную высоту наплавленного слоя.

Минимальный коэффициент перемешивания для образца из алюминиевого сплава получен при использовании насадки S 1,0 с расположением фокуса газопорошкового потока над поверхностью подложки. Применение этой насадки также благоприятно для получения симметричной формы валика.



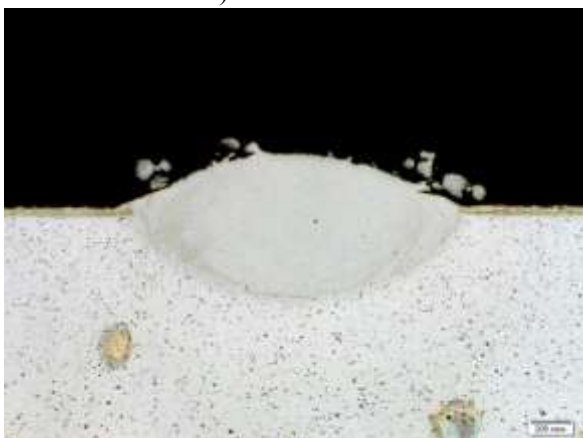
а) $F = +3$ мм



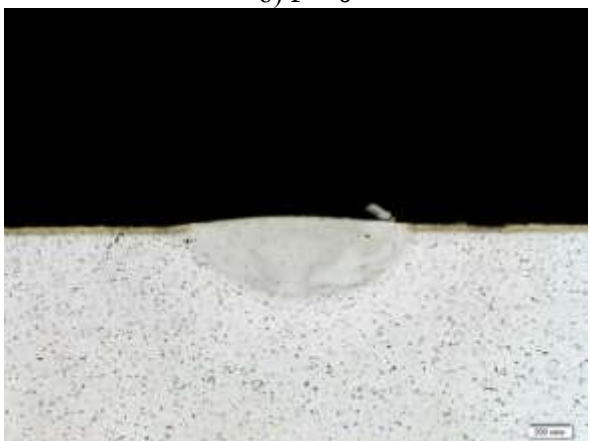
а) $F = +3$ мм



б) $F = 0$

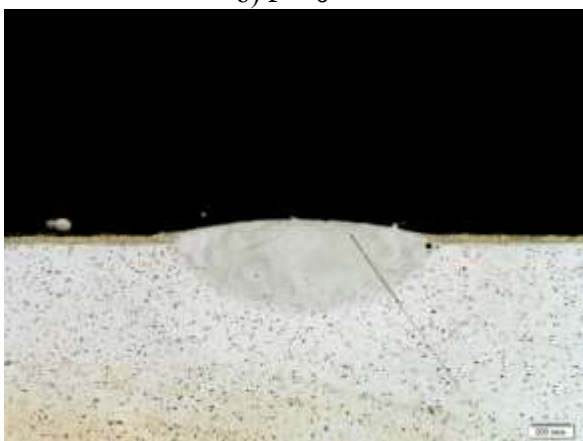


б) $F = 0$



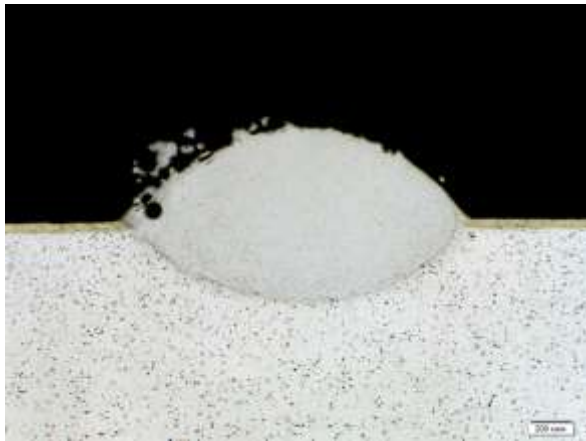
в) $F = -3$ мм

Рисунок 12. Насадка S 0.5

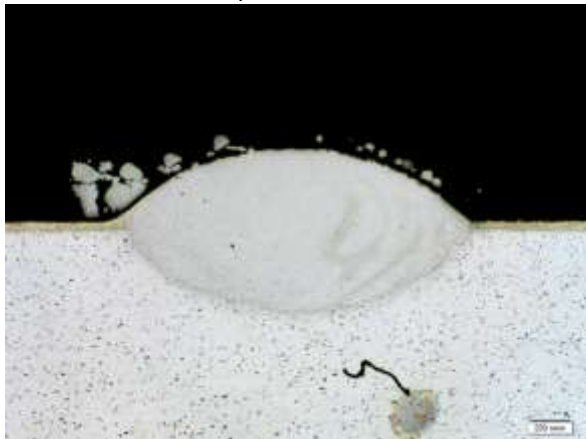


в) $F = -3$ мм

Рисунок 13. Насадка S 0.75



а) $F = +3$ мм



б) $F = 0$

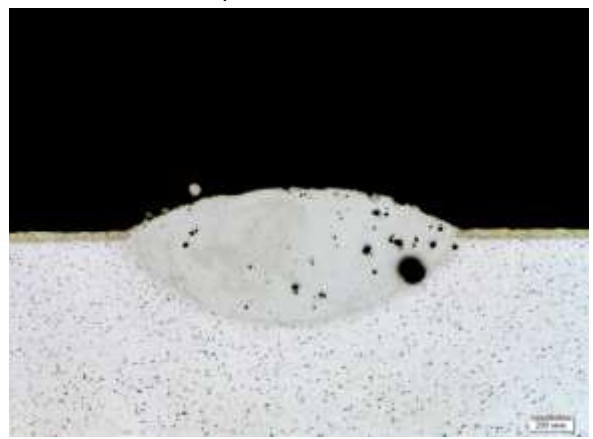


в) $F = -3$ мм

Рисунок 14. Насадка S 1.0



а) $F = +3$ мм



б) $F = 0$



в) $F = -3$ мм

Рисунок 15. Четырехструйная насадка

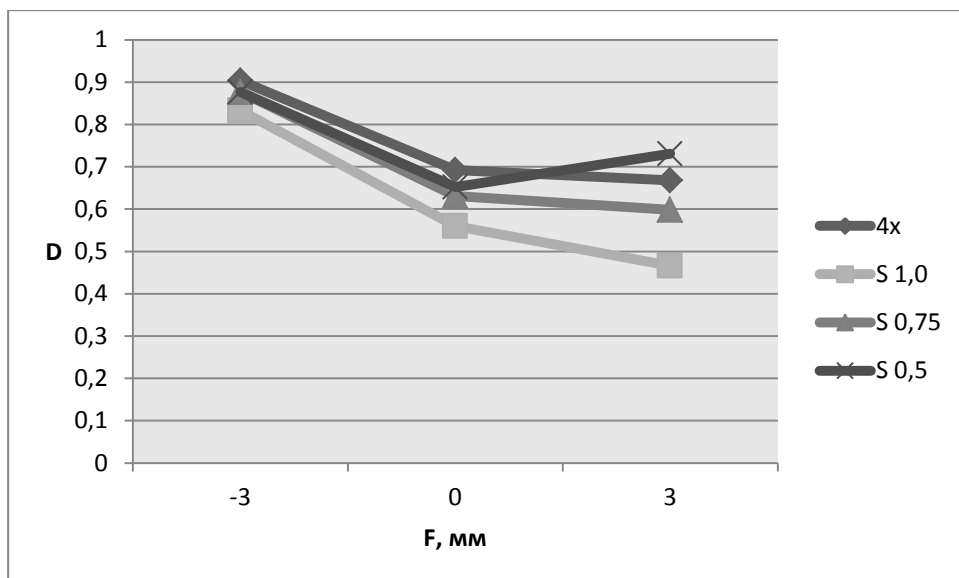


Рисунок 16. Коэффициент перемешивания D образца №2

1.2. Микротвердость наплавленных материалов

Схема измерения микротвердости представлена на рисунке 17. Измерения проводились от поверхности наплавленного слоя к подложке. Поскольку толщина наплавленного слоя на разных насадках различалась, зона скачкообразного изменения микротвердости (переход от наплавленного металла к основе) отстоит от поверхности на разных расстояниях. Кроме того, средняя твердость наплавленного валика зависит от доли растворенного в ней металла основы и связана с коэффициентом перемешивания. На алюминиевых сплавах данный факт замечен меньше, поскольку металлы основы и присадочного материала похожи по механическим свойствам. Упрочнение наплавленного металла в данном случае вызвано закалкой.

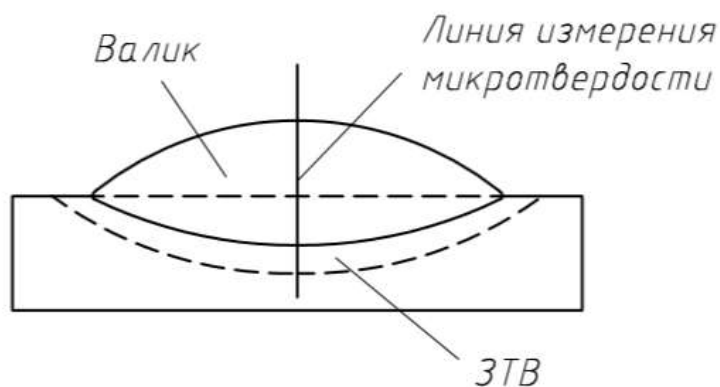


Рисунок 17. Схема измерения микротвердости валиков

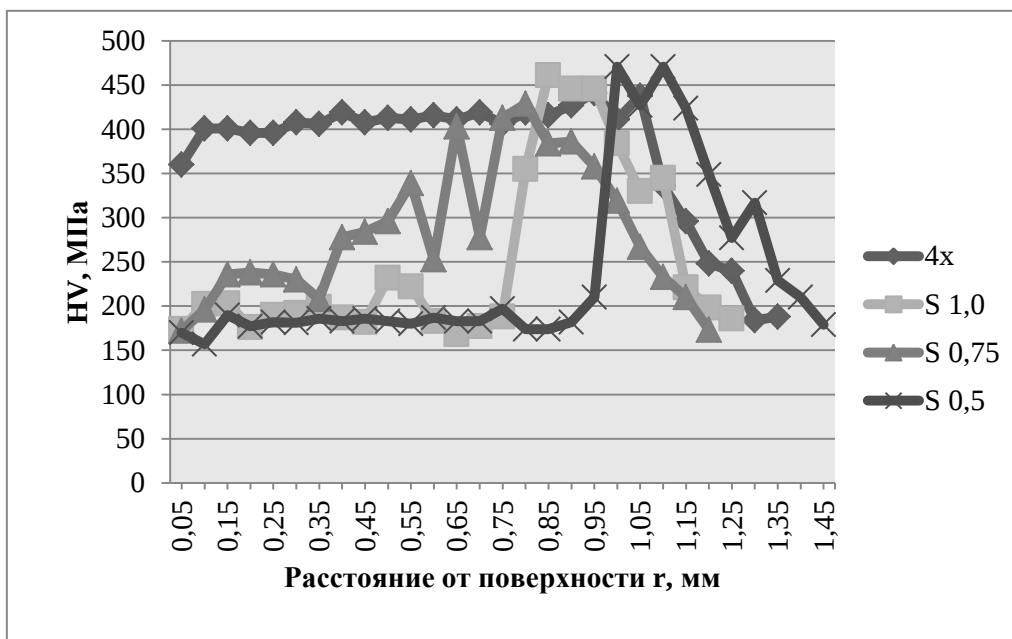


Рисунок 18. Микротвердость стали SS 316 L при $F = 0$ с использованием различных насадок

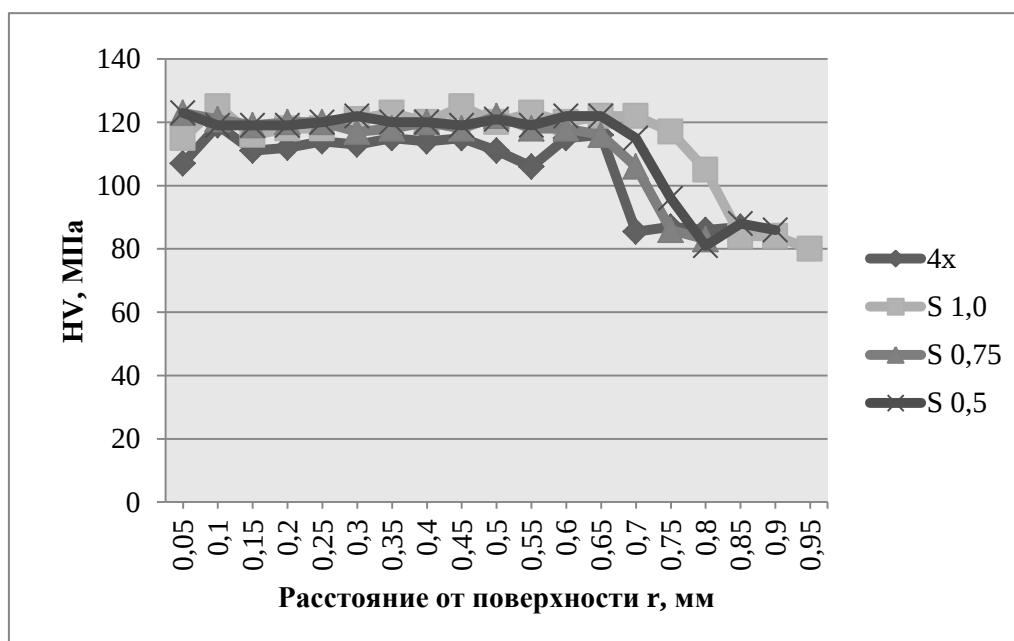


Рисунок 19. Микротвердость алюминиевого сплава Al12Si при $F = 0$ с использованием различных насадок

4. Выводы

- 1) Ширина валиков из нержавеющей стали и алюминиевого сплава при использовании различных насадок меняется незначительно.
- 2) Симметричные валики из нержавеющей стали с минимальным коэффициентом перемешивания были получены при использовании сопла S 0,5 с расположением фокуса газопорошкового потока на поверхности подложки ($F=0$).
- 3) Симметричные валики из алюминиевого сплава с минимальным коэффициентом перемешивания были получены при использовании сопла S 1,0 с расположением фокуса газопорошкового потока над поверхностью подложки ($F=+3$ мм).

Литература

1. Третьяков Р.С. Технологические особенности процесса лазерной модификации поверхностей с коаксиальной подачей порошковых материалов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.
2. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов/ Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. ; ред. Григорьянц А.Г. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 663 с.
3. U. de Oliveira, V. Ocelik, J. Th.M. de Hosson/ Analysis of coaxial laser cladding processing conditions, 2004.