

УДК 621.375.826

Исследование влияния геометрии газопорошкового потока и параметров излучения на формообразование одиночных валиков при лазерной наплавке

Шелестова А.К., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»*

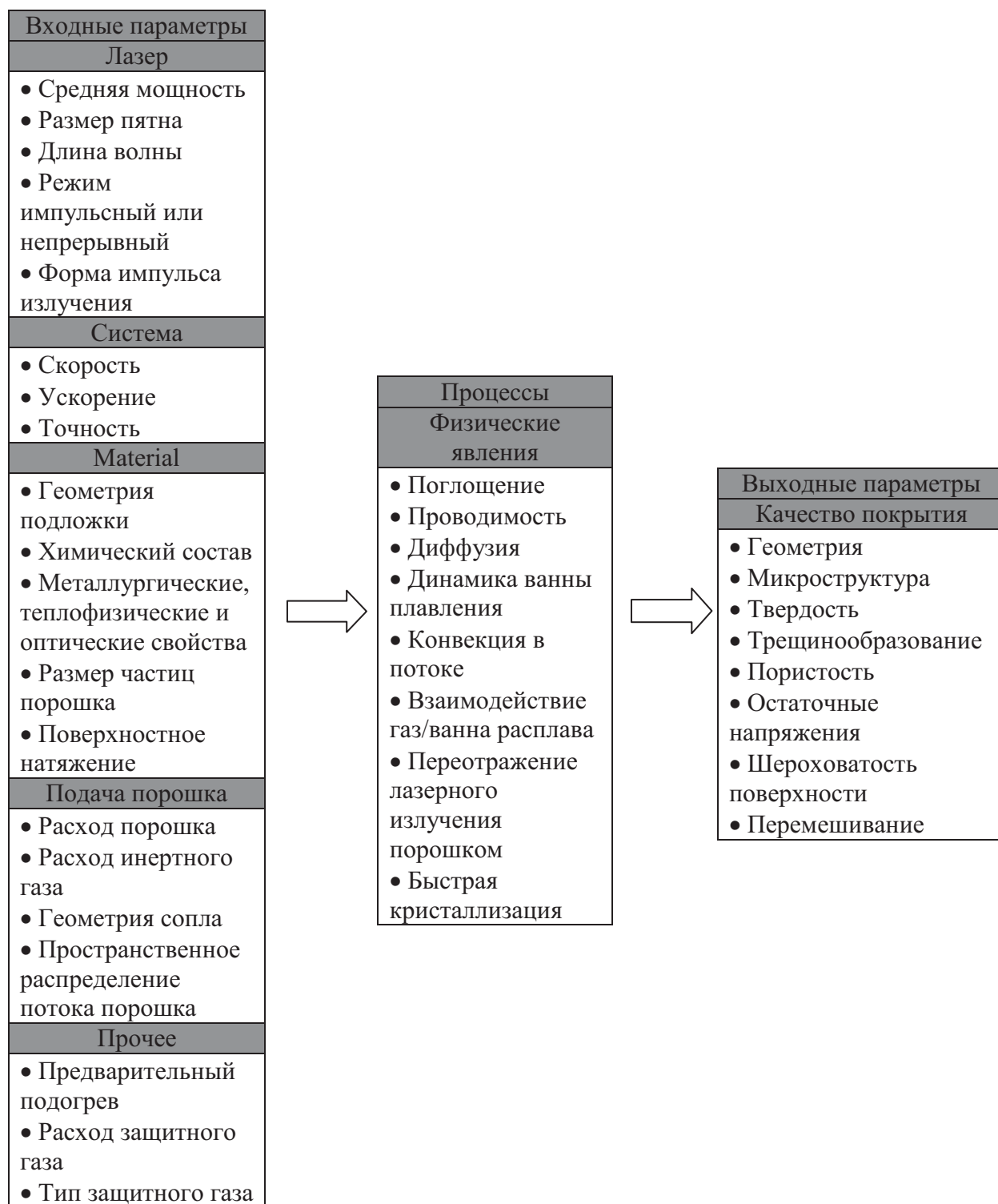
Научный руководитель: Самарин П.Е., ассистент кафедры

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

bauman@bmstu.ru

Лазерная наплавка – один из ведущих способов восстановления поверхности деталей. Для осуществления процесса наплавки необходимо учитывать множество параметров, влияющих на качество наплавленного слоя – валика. В Таблице 1 представлены эти параметры [1]. Таким образом, помимо лазерного излучения необходимо учитывать потоки газопорошковых смесей, взаимодействие частиц с материалами технологической оснастки и т.д. [2] Также важным является дальнейшее исследование свойств полученных валиков.

Входные и выходные параметры и процессы, участвующие в лазерной наплавке



Геометрические параметры единичного валика представлены на рис. 1. Для оценки доли основного металла в наплавленном валике используют коэффициент перемешивания:

$$D = \frac{F_O}{F_H + F_O},$$

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

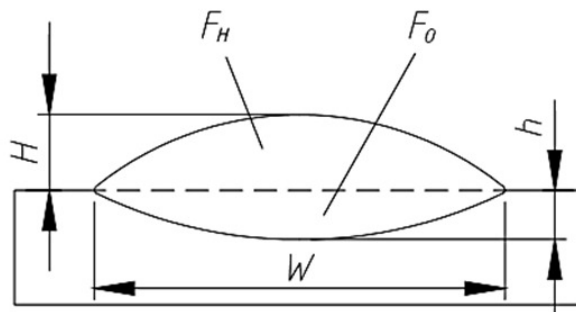


Рис. 1. Геометрические параметры наплавленного валика: F_O - площадь подплавленного основного металла; F_H – площадь наплавленного металла; H – высота наплавленного слоя; h – глубина подплавления; W – ширина наплавленного слоя

Сплошной наплавленный слой формируется при успешном наплавлении отдельных валиков друг к другу. Однако, если необходимо построить оптимальный слой наплавленного материала (хорошо сплавленный, тонкий, плотный и без трещин) отдельные валики должны удовлетворять определенным геометрическим условиям [3].

Для получения высокого качества покрытия необходимо, чтобы коэффициент перемешивания был достаточно низким (10 - 30%) [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.

Для исследования влияния положения фокуса газопорошкового потока при использовании различных насадок для наплавки на коэффициент перемешивания были выбраны следующие порошковые материалы, которые используются для восстановления и защиты от коррозии: нержавеющая сталь SS316L и алюминиевый сплав Al12Si. Их характеристики приведены в таблице 2. 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.

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

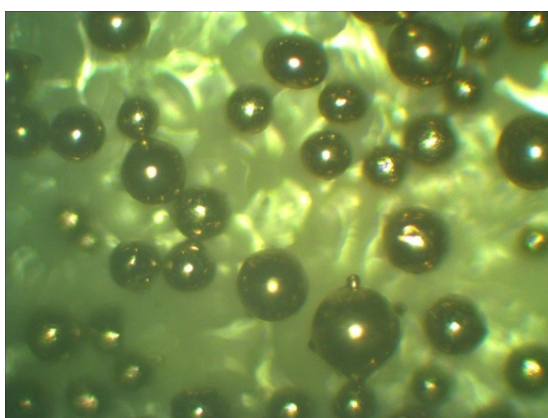


Рис. 2. Частицы порошка стали SS 316 L, увеличение 100 крат

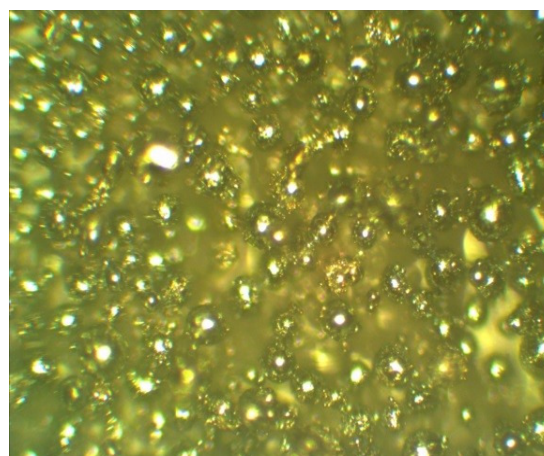
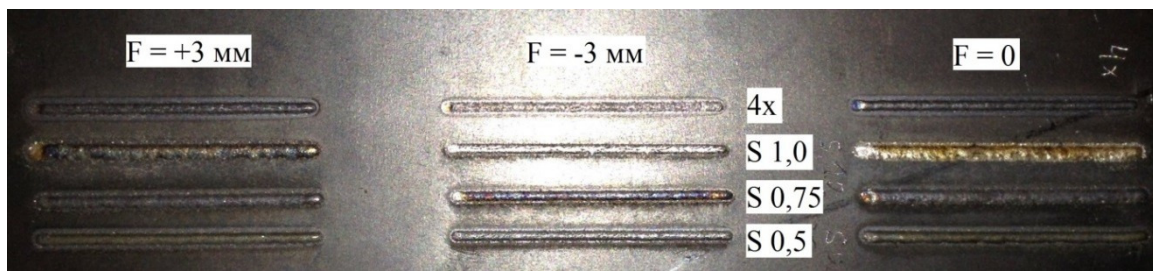


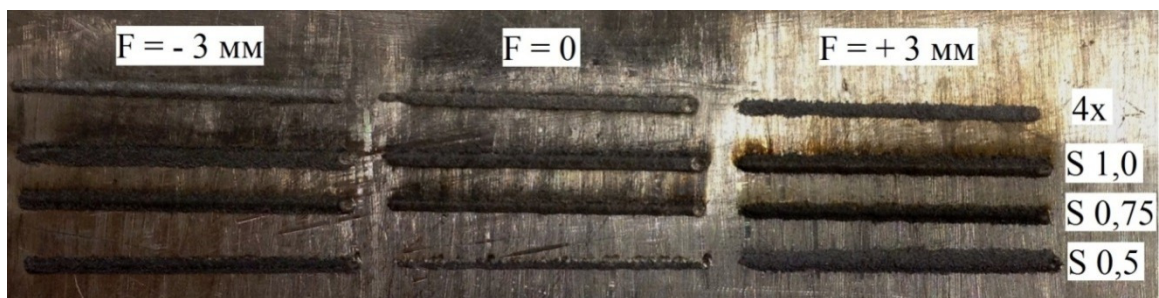
Рис. 3. Частицы порошка алюминиевого сплава Al12Si, увеличение 50 крат

Для проведения экспериментов использовалось следующее оборудование: порошковый питатель GTV, 4-кВт иттербиевый волоконный лазер, наплавочная голова YC 50, технологические насадки в виде конусов с различными диаметрами выходных отверстий. Диаметр лазерного луча на поверхности образцов составлял 2 мм и имел круглую форму.

На подложку были нанесены серии валиков (рис. 4): в фокусе газопорошкового потока, с заглублением потока на 3 мм и с приподнятым на 3 мм фокусом относительно подложки (рис. 5). Помимо изменения фокальной плоскости газопорошкового потока были использованы 4 различные насадки для подачи порошка: четырехструйная и 3 вида коаксиальных (рис.6). При изменении фокуса газопорошкового потока плотность мощности лазерного излучения не менялась.



a)



б)

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

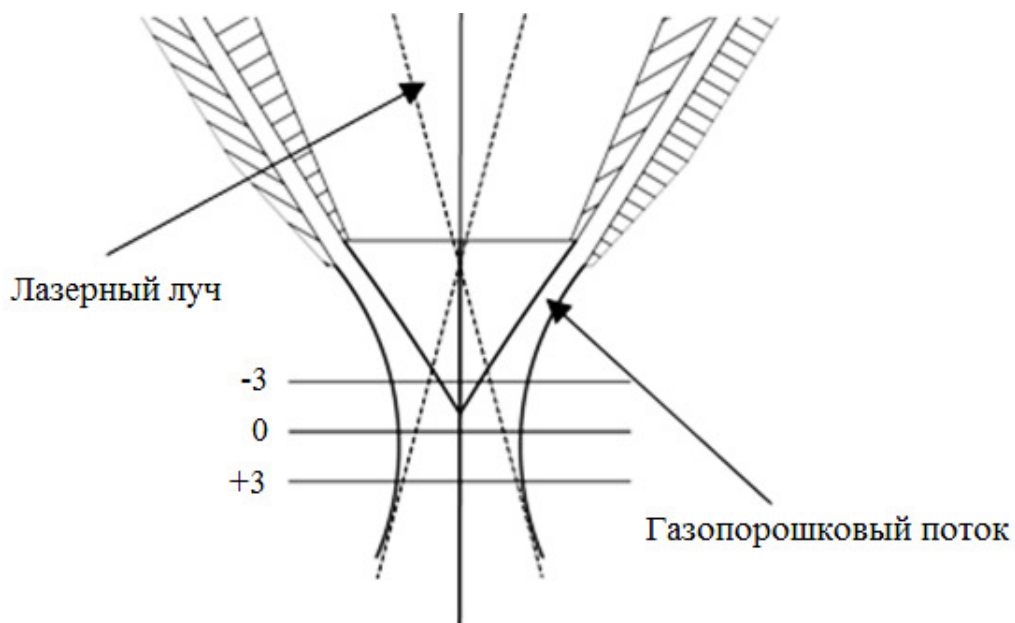


Рис. 5. Схема положения фокуса газопорошкового потока относительно подложки: с заглублением фокуса ($F = -3$ мм), с приподнятым фокусом ($F = +3$ мм) и в фокусе газопорошкового потока ($F = 0$)

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.

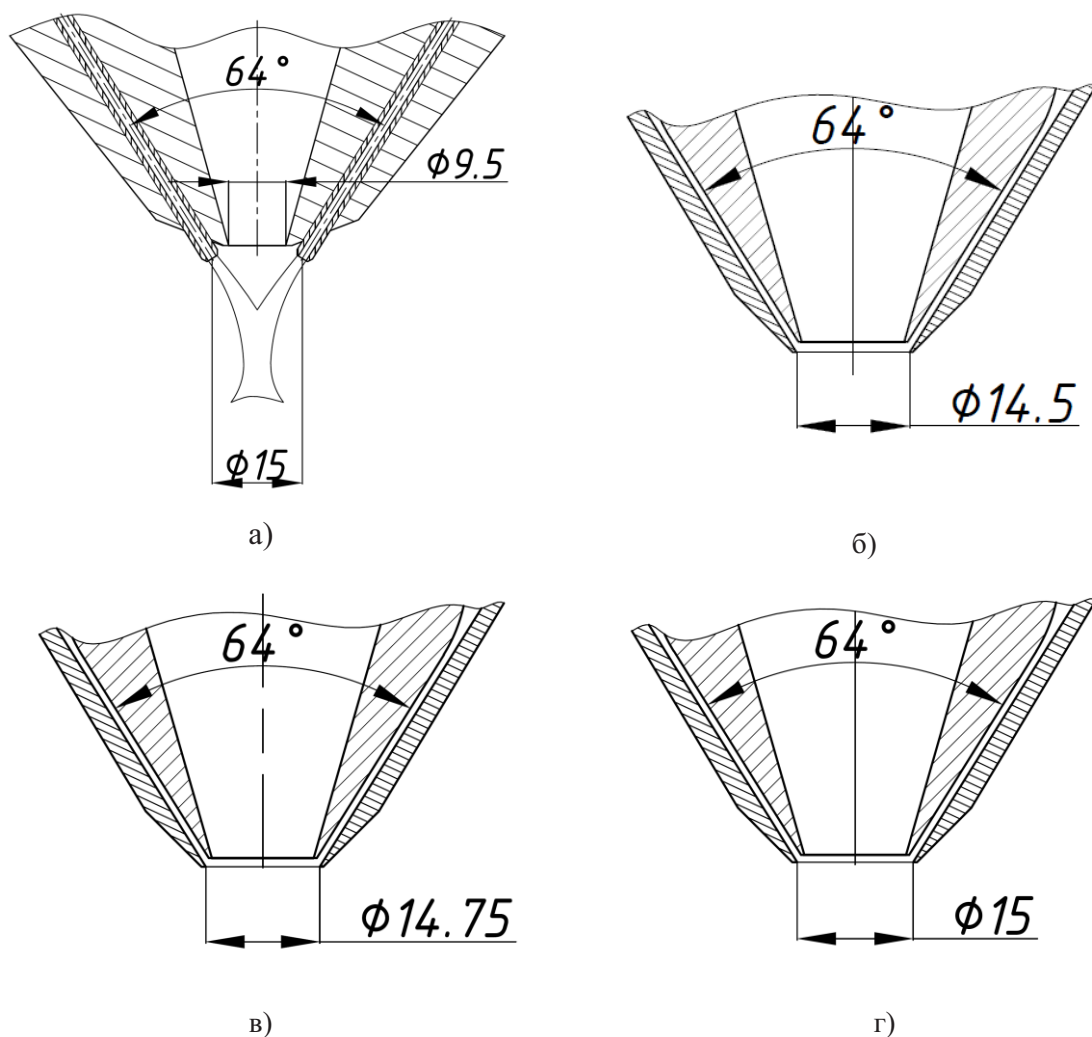


Рис. 6. Эскизы рабочей части сопла с различными насадками для: четырехструйной подачи порошка (а) и коаксиальной подачи порошка (б - S 0,5; в - S 0,75; г - S 1,0)

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.

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



а)



б)

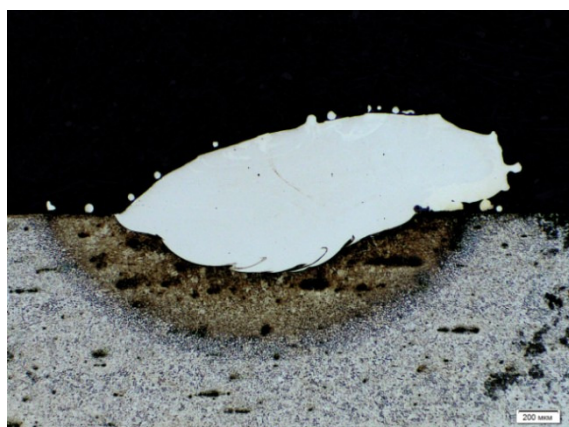


в)

Рис. 7. Одиночные валики, изготовленные с помощью насадки S0.5 при расположении фокальной плоскости газопорошкового потока а) над поверхностью образца $F = +3$ мм; б) на поверхности образца $F = 0$; в) внутри образца $F = -3$ мм



а)



б)



в)

Рис. 8. Одиночные валики, изготовленные с помощью насадки S0.75 при расположении фокальной плоскости газопорошкового потока а) над поверхностью образца $F = +3$ мм; б) на поверхности образца $F = 0$; в) внутри образца $F = -3$ мм



а)



б)



в)

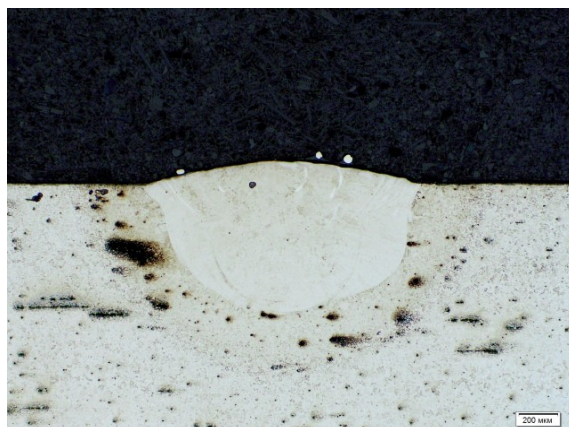
Рис. 9. Одиночные валики, изготовленные с помощью насадки S1.0 при расположении фокальной плоскости газопорошкового потока а) над поверхностью образца $F = +3$ мм; б) на поверхности образца $F = 0$; в) внутри образца $F = -3$ мм



а)



б)



в)

Рис. 10. Одиночные валики, изготовленные с помощью четырехструйной насадки при расположении фокальной плоскости газопорошкового потока а) над поверхностью образца $F = +3$ мм; б) на поверхности образца $F = 0$; в) внутри образца $F = -3$ мм

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 диаметр газопорошкового потока в фокальной плоскости наибольший по сравнению с другими насадками и поглощение излучения порошком минимально. Наиболее высокий валик получен на сопле с минимальным диаметром выходного отверстия (S 0,5, см. рис. 7,б).

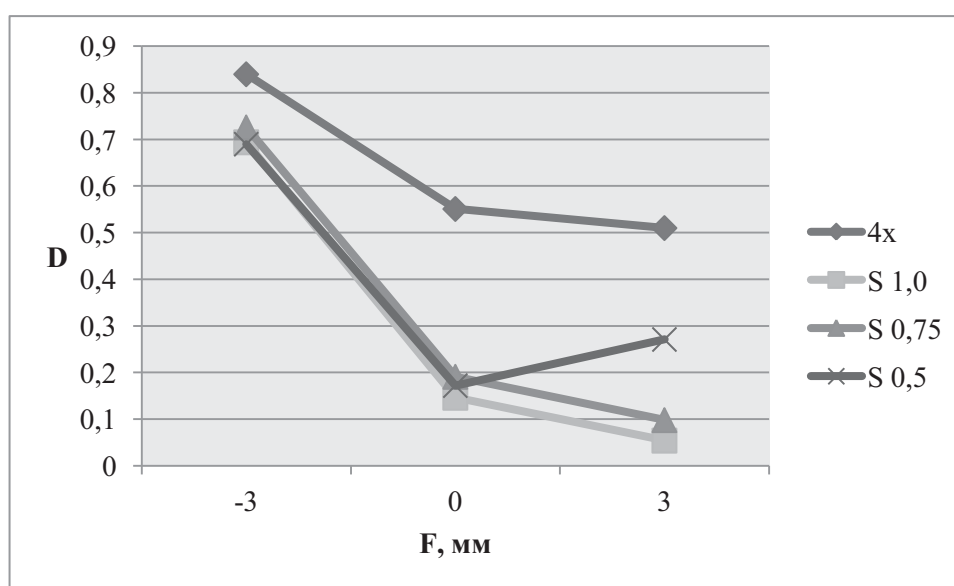


Рис. 11. Коэффициент перемешивания D образца №1

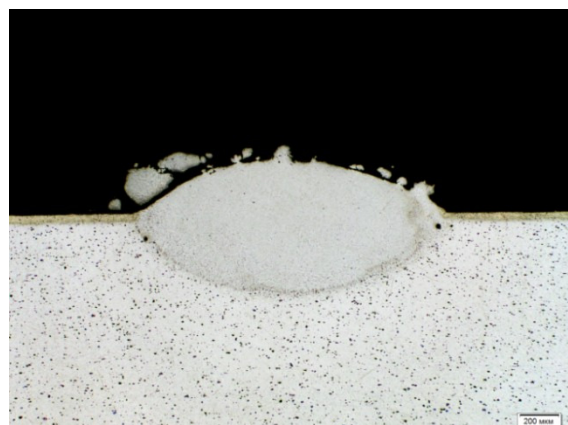
Из рисунка 11 видно, что минимальный коэффициент перемешивания получен при использовании насадки S 1,0. Но следует учесть, что форма валиков в этом случае асимметрична. Таким образом, с учетом необходимости получения наименьшего коэффициента перемешивания и симметричной формы валика для наплавки валиков 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. рис. 14,а).



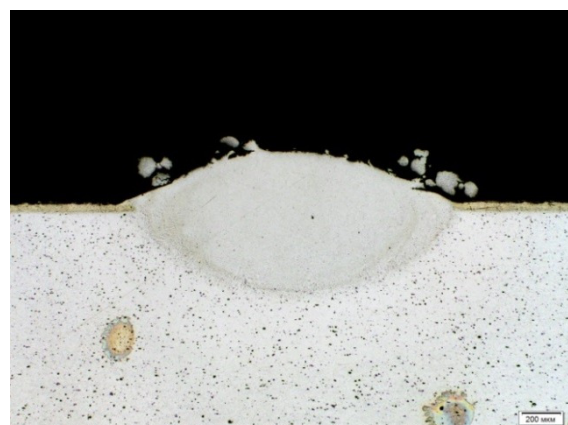
а)



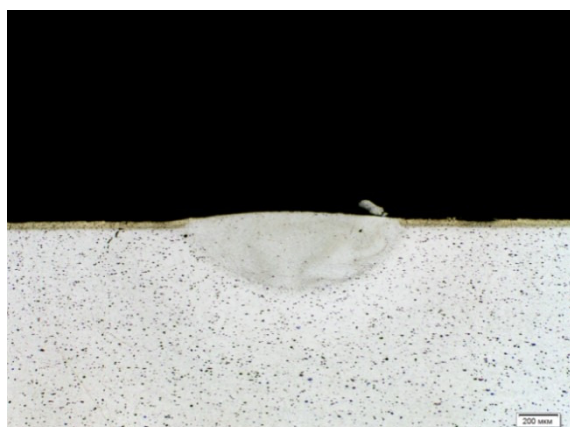
а)



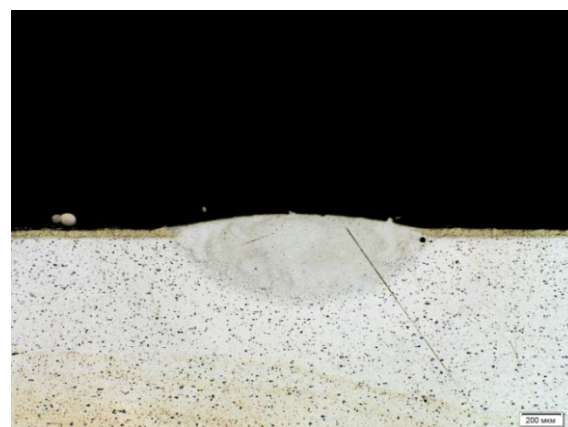
б)



б)



в)

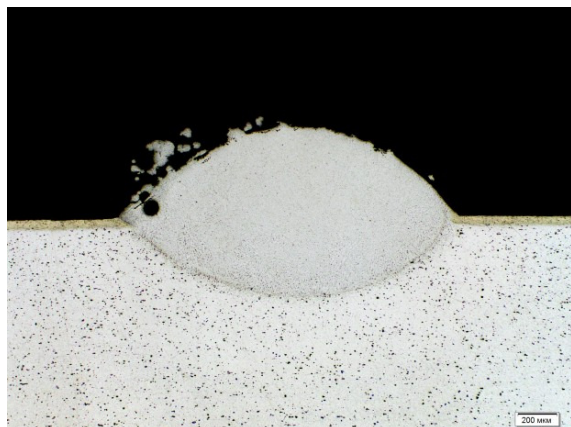


в)

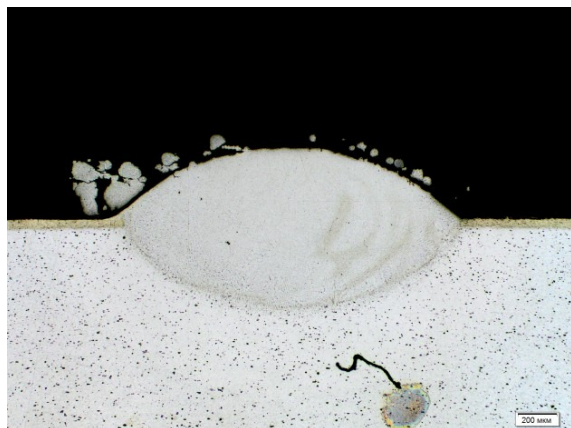
Рис.12. Одиночные валики, изготовленные с помощью насадки S0.5 при расположении фокальной плоскости газопорошкового потока а) над поверхностью образца $F = +3$ мм; б) на поверхности образца $F = 0$;

Рис.13. Одиночные валики, изготовленные с помощью насадки S0.75 при расположении фокальной плоскости газопорошкового потока а) над поверхностью образца $F = +3$ мм; б) на поверхности образца $F = 0$;

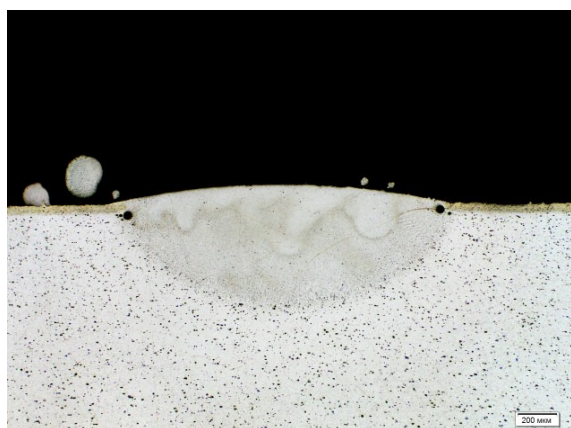
в) внутри образца $F = -3$ мм



а)



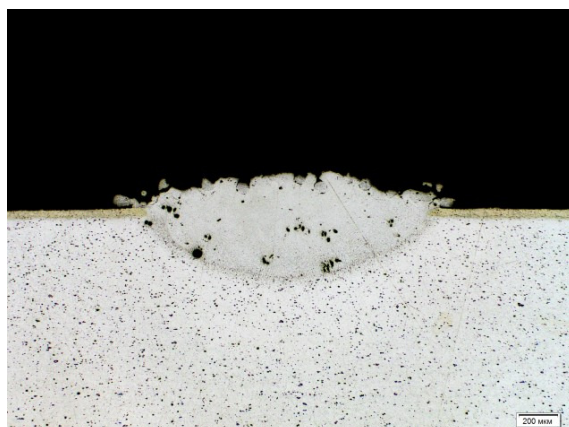
б)



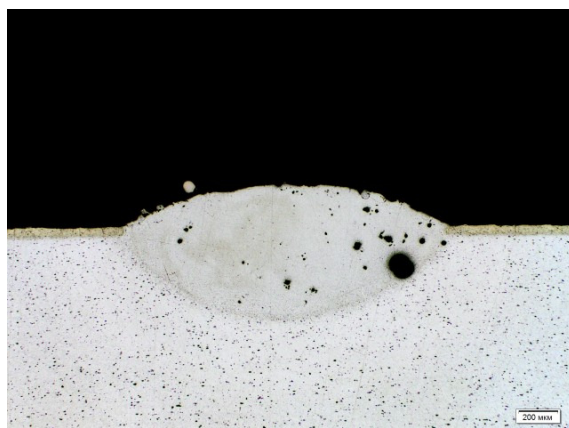
в)

Рис.14. Одиночные валики, изготовленные с помощью насадки S1.0 при расположении фокальной плоскости газопорошкового потока а) над поверхностью образца $F = +3$ мм; б) на

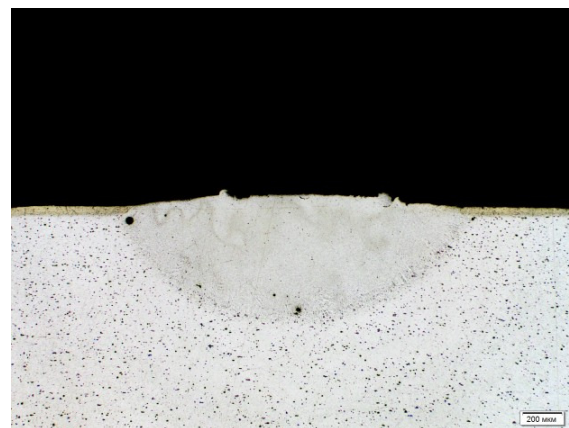
в) внутри образца $F = -3$



а)



б)



в)

Рис.15. Одиночные валики, изготовленные с помощью четырехструйной насадки при расположении фокальной плоскости газопорошкового потока а) над поверхностью образца $F = +3$ мм; б) на

поверхности образца $F = 0$; в) внутри
образца $F = -3$

поверхности образца $F = 0$; в) внутри
образца $F = -3$ мм

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.

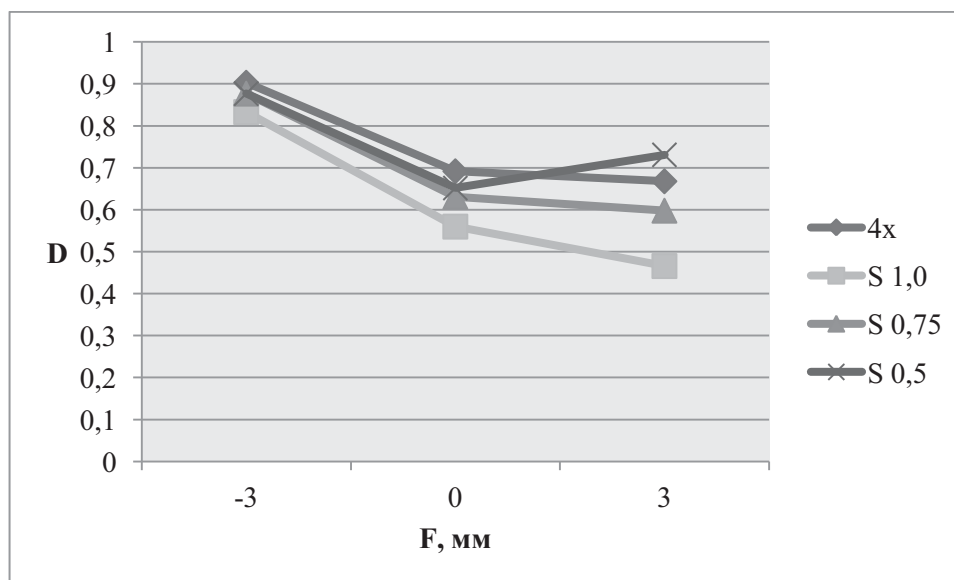


Рис. 16. Коэффициент перемешивания D образца №2

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

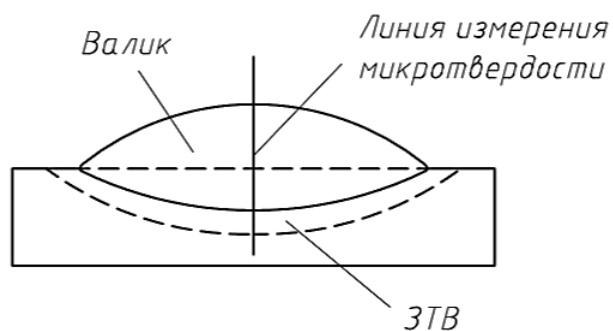


Рис. 17. Схема измерения микротвердости валиков

разных расстояниях. Кроме того, средняя твердость наплавленного валика зависит от доли растворенного в ней металла основы и связана с коэффициентом перемешивания (рис. 18). На алюминиевых сплавах (рис. 18) данный факт замечен меньше, поскольку металлы основы и присадочного материала похожи по механическим свойствам. Упрочнение наплавленного металла в данном случае вызвано закалкой.



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

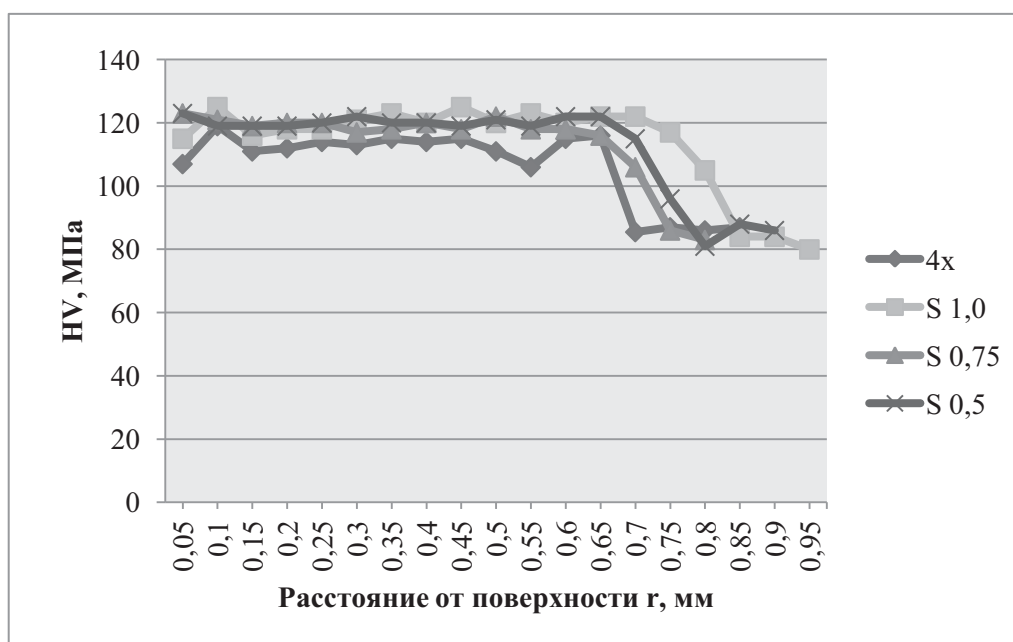


Рис. 19. Микротвердость алюминиевого сплава Al12Si при $F=0$ с использованием различных насадок

По результатам исследований можно сделать следующие 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 технологической насадки для коаксиальной подачи порошка 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 технологической насадки для коаксиальной подачи порошка S 1,0 с расположением фокуса газопорошкового потока над поверхностью подложки ($F=+3$ мм).
- 4) Лазерная наплавка порошков, как алюминиевого сплава, так и железного проходит с большей эффективностью с использованием технологических насадок для коаксиальной подачи порошка. Насадка для четырехструйной подачи порошка подходит для обработки с большим диаметром пятна.
- 5) Наплавка с заглублением фокуса газопорошкового потока приводит к излишнему подплавлению основы и, как следствие, перемешиванию с основным металлом.

Список литературы

1. E. Toyserkani, A. Khajepour, S. Corbin. Laser Cladding. CRC Press, 2005. 260 p.
2. Третьяков Р.С. Технологические особенности процесса лазерной модификации поверхностей с коаксиальной подачей порошковых материалов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 158 с.
3. De Oliveira U. Analysis of coaxial laser cladding processing conditions. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S025>, accessed 10.02.2014.