

УДК 621.373.826

Разработка технологической оснастки для газопорошковой лазерной наплавки покрытий

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

*Научный руководитель: Ставертий А.Я., ассистент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»
mt12@bmstu.ru*

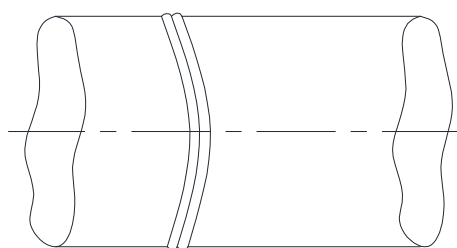
Газопорошковая лазерная наплавка (далее - ГПЛН) заключается в получении поверхностных покрытий принудительной подачей порошка газовым потоком непосредственно в зону лазерного излучения. Частицы порошка начинают нагреваться в зоне лазерного излучения вплоть до попадания на обрабатываемую поверхность, на которой они достигают полного расплавления с последующей кристаллизацией и формированием валика. ГПЛН определяется следующими параметрами: мощность лазерного излучения P , скорость перемещение образца под излучением, т.е. скорость наплавки $v_{\text{нап}}$, диаметр пятна нагрева лазерного излучения $d_{\text{п}}$, определяемый условием фокусировки излучения, массовый расход подаваемого в зону обработки порошка $G_{\text{п}}$, расстояние с которого вводится порошок L , угол ввода порошка α .

Прежде чем начать рассмотрение технологического процесса ГПЛН в полосу (ГПЛН, при которой порошок при попадании на поверхность обрабатываемой детали образует широкую линию - полосу), следует обратить внимание на терминологию. Поскольку ГПЛН в полосу является относительно молодой, недавно появившейся технологией, само название «ГПЛН в полосу» еще не является общепринятым, однако есть основания ожидать, что данное наименование займет своё законное место в ряду технических терминов.

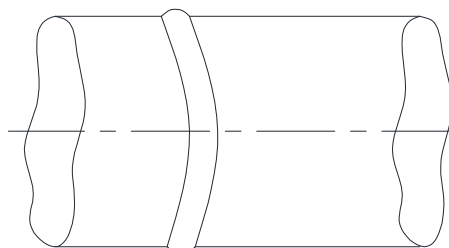
ГПЛН в полосу (широкую линию) является более производительной технологией по сравнению с обычной ГПЛН, при которой спеченный порошок описывает некую покрывающую обрабатываемую поверхность детали узкую кривую, поскольку при ГПЛН в полосу покрытие всей обрабатываемой поверхности происходит за значительно

меньшее число проходов при приблизительно одинаковых затратах порошка (рис. 1). Таким образом, имеет место экономия времени и дорогостоящей энергии лазерного источника.

Схемы формирования валиков на валу при:



- ГПЛН в узкую линию



- ГПЛН в широкую линию
(полосу)

Рис. 1. Схемы формирования валиков на валу при двух различных типах ГПЛН

На данный момент существует определенное количество различных типов лазерных головок с прямоугольной апертурой, совмещенных с порошковыми соплами. Однако в таких соплах, как правило, порошковый поток на выходе состоит из нескольких струй порошка с круглым сечением (см. рис.2); в данной же работе представлен вариант конструкции сопла с одним выходным потоком прямоугольного (в первом приближении) сечения, изначально предназначавшегося для оснащения им головы диодного лазера с прямоугольной апертурой (рис.3) и осуществления ГПЛН в полосу при использовании данного лазера. Сопло имеет форму, благоприятствующую равномерному вылету порошка, для равномерного же поступления порошка внутрь сопла последнее оснащено четырьмя входными отверстиями под фитинги с резьбой МЗ. Впоследствии количество фитингов было скорректировано из конструктивных соображений (см. конец статьи).

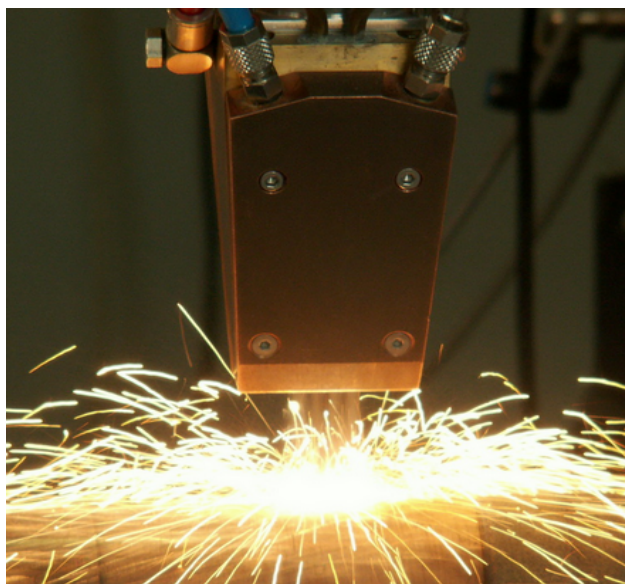


Рис. 2. Порошковое сопло, предназначенное для ГПЛН в полосу

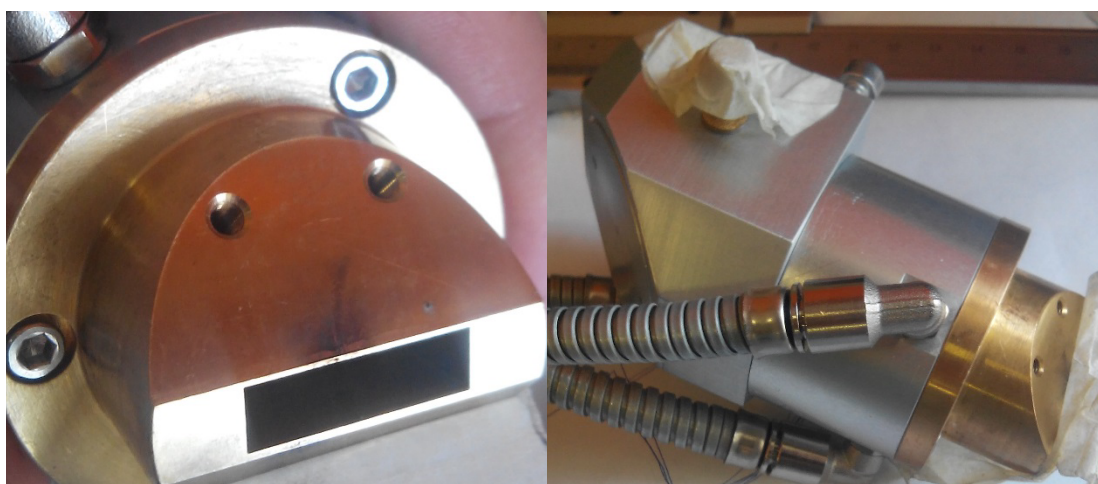


Рис. 3. Фотографии головы диодного лазера с прямоугольной апертурой

На рис.4 представлен опытный образец разработанного порошкового сопла, изготовленный из стали с применением технологических операций лазерной резки и сварки. Однако для использования в промышленности рекомендуется изготавливать сопло из чистой меди или сплавов на основе меди (например, из латуни) для лучшего отвода тепла. Технология изготовления сопла в этом случае не должна включать в себя использование лазерных источников, так как медь имеет крайне низкий коэффициент поглощения лазерного излучения. При изготовлении сопла из меди или сплава на основе меди рекомендуется применять обработку фрезерованием на фрезерном станке. Сопло состоит из пяти деталей: задняя стенка, передняя стенка, боковая стенка (2 шт.), крышка.



Рис. 4. Фотографии опытного образца порошкового сопла

Разработана экспериментальная схема установки для оценки параметров газопорошкового потока, создан соответствующий измерительный стенд (рис.5). Оборудование: порошковый питатель GTV PF 2/2 вместе с трубками для подачи порошка и соединительными фитингами, скоростная камера Fastvideo 500M, оснащенная объективом Nikon CL-45, портативный диодный фонарь DNS, измерительная линейка, штативы для камеры и порошкового сопла. На рис. 6 приведены примеры кадров, сделанных скоростной камерой в ходе эксперимента. В статье приводятся результаты измерений геометрических параметров газопорошкового потока для каждого режима подачи порошка (табл. 1). В испытаниях использовался порошок на никелевой основе с размером фракций 50...106 мкм, в качестве вспомогательного газа применялся аргон, подаваемый под давлением 5 атм. Для того, чтобы аппаратура идентифицировала частицы порошка, диодный фонарь располагался непосредственно под выходным соплом и вылетающими частицами порошка. По этой причине следует дать рекомендацию в подобных испытаниях использовать только те источники освещения, которые обладают устойчивостью к порошку. Также обязательным является использование индивидуальных средств защиты органов дыхания (респиратор), так как частицы порошка при попадании в верхние дыхательные пути и в легкие оказывают крайне неблагоприятное воздействие на организм человека, причем степень тяжести последствий определяется как длительностью контакта с порошком, так и его химическим составом.

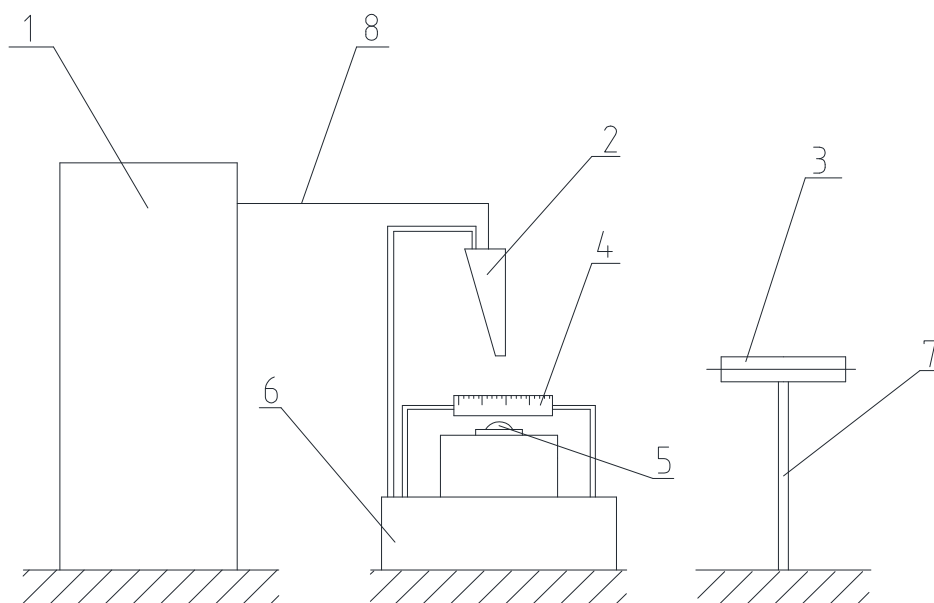


Рис. 5. Схема измерительного стенда для оценки параметров газопорошкового потока
(пропорции изменены для наглядности)

Позиции на схеме:

- 1 - порошок;
- 2 - порошковое сопло;
- 3 - скоростная камера;
- 4 - измерительная линейка;
- 5 - источник света;
- 6 - стол;
- 7 - штатив;
- 8 - порошковый шланг.

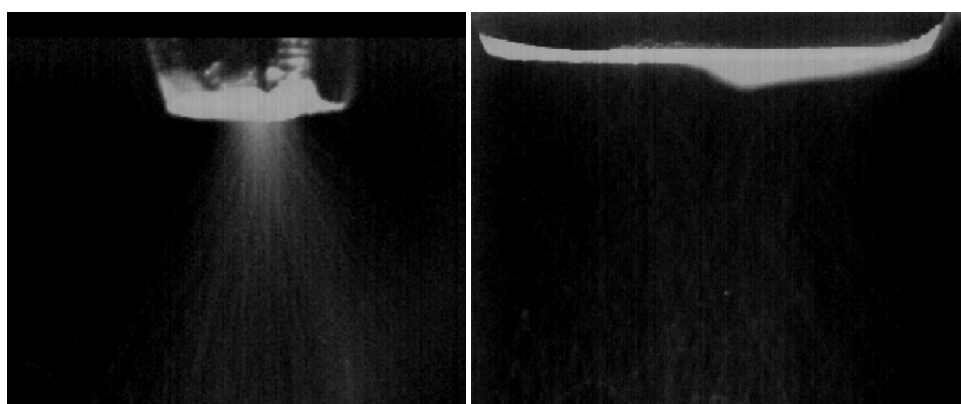


Рис. 6. Примеры кадров, полученных с помощью скоростной камеры

Геометрические параметры потока при различных режимах подачи порошка на расстоянии 40 мм от выходной щели сопла

Газ	Давление газа, атм	Расход порошка, г/с	Расход газа, л/мин	Ширина струи по быстрой оси*, мм	Ширина струи по медленной оси*, мм
Аргон	5	0.1	10	31	40
Аргон	5	0.2	10	32	44
Аргон	5	0.1	15	29	38
Аргон	5	0.1	20	29	36
Аргон	5	0.3	25	32	40

* Под «быстрой» и «медленной» осями понимаются малая и большая оси поперечного сечения струи порошка соответственно. Данная терминология опять же не является общепринятой, однако уже имеет определенное распространение в среде специалистов по лазерной обработке.

На основании визуального анализа результатов съемки было сделано заключение о том, что поперечное сечение струи порошка имеет форму, приближенную к эллиптической. При повышении расхода газа наблюдается сужение струи, а при увеличении расхода порошка струя начинает расширяться. В непосредственной близости от сопла сказываются краевые эффекты: линейные размеры струи в поперечном сечении близки к размерам выходного окна. Далее, в одной проекции наблюдается резкое расширение струи, а в другой - сужение вплоть до перетяжки и дальнейшее расширение потока. Также можно сделать вывод о том, что сопло герметично, потерь порошка на пути от питателя до апертуры сопла нет.

Большим недостатком сопла является тот факт, что после его прохождения порошок рассыпается под недопустимо большим углом. В данный момент идет поиск оптимальной конструкции и таких геометрических параметров сопла, при которых этот недостаток будет полностью устранен. Примерная конструкция модернизированного сопла представлена на рис. 7.

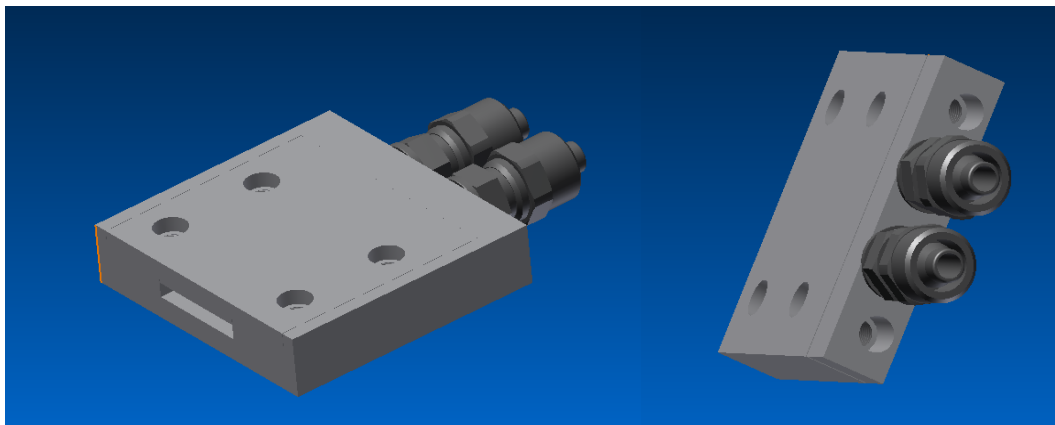


Рис. 7. Модернизированная конструкция сопла

При проектировании сопла в основу были положены следующие соображения:

1. Как было сказано ранее, сопло должно быть изготовлено из меди или сплава на основе меди (к примеру, из латуни).
2. Конструкция должна состоять из трех деталей: задняя стенка, передняя стенка, крышка. Каждая деталь изготавливается на фрезерном станке, сборка осуществляется при помощи винтовых соединений.
3. Необходимо изготовить несколько опытных образцов сопла, чтобы осуществить подбор оптимального количества соединительных фитингов (предполагается использовать либо один, либо два фитинга), выбрать оптимальный угол наклона внутренних поверхностей стенок друг к другу, оптимальные длину и ширину выходной щели.
4. При проведении испытаний с модернизированным соплом важной задачей является определение наличия перетяжки в газопорошковой струе. Если перетяжка будет наблюдаться, то следует вести обработку таким образом, чтобы перетяжка приходилась на поверхность детали; в этом случае необходимо добиться того, чтобы перетяжка находилась на расстоянии от выходной щели сопла, достаточным для того, чтобы обрабатываемая деталь не подвергалась излишнему перегреву во время обработки. Если же будет установлено отсутствие перетяжки, следует определить, при каком расстоянии между обрабатываемой деталью и выходной щелью сопла достигаются наилучшие характеристики покрытия для различных металлов.
5. После того, как будет найдена оптимальная конструкция сопла, следует решить вопрос о соединении его с головкой того лазера, который планируется оснастить этим соплом с целью промышленного применения.

Подводя итог, следует еще раз подчеркнуть, что ключевым моментом в последующих исследованиях в области разработки технологической оснастки для ГПЛН в полосу является изготовление опытных образцов сопла и проведение испытаний, после чего можно будет сделать вывод, какая именно конструкция и какие геометрические параметры обеспечивают наилучшие характеристики порошковой струи, необходимые для качественной и производительной обработки.

Обслуживание оборудования и технологические особенности процесса ГПЛН в полосу не имеют отличий от обычной ГПЛН. Для того, чтобы в ходе обработки исключить потери порошка при его транспортировке от порошкового питателя в рабочую зону, следует периодически проверять затяжку резьбы на фитингах. Также, помимо средств индивидуальной защиты органов дыхания, при осуществлении наплавки необходимо обязательно использовать индивидуальные средства защиты органов зрения, как и при любом технологическом процессе с применением лазерных источников.

Технология ГПЛН в полосу имеет большие перспективы для применения как в серийном, так и в массовом производстве. Высокая производительность процесса позволяет заменить плазменную и электродуговую наплавку лазерной с обеспечением более высокого качества наплавленного слоя и меньшими тепловыми воздействиями на деталь. Высоки перспективы применения данной технологии для обработки крупногабаритных деталей, что связано опять же с высокой производительностью процесса. Больше того - можно сказать, что ГПЛН в полосу развивается именно с целью обработки крупногабаритных деталей, таких как валы автомобиле- и судостроения.

Список литературы

1. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989. 301 с.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: учебное пособие для вузов / под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 363 с.
3. Асютин Р.Д., Ставертий А.Я. Экспериментальное исследование газопорошкового потока при лазерной наплавке с использованием различных технологических насадок. Режим доступа: <http://studvesna.ru?go=articles&id=1043> (дата обращения 06.04.2015).