

УДК 621.373.826

ШИРОКОПОЛОСНАЯ ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ПРОЦЕССА.

Константин Игоревич Макаренко⁽¹⁾, Антон Яковлевич Ставертий⁽²⁾

Студент 5 курса⁽¹⁾, ассистент⁽²⁾

кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Р.С. Третьяков

кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»

Ключевые слова: лазер (laser), наплавка (cladding), прямоугольное пятно (rectangular spot), оснастка (equipment).

Аннотация: В данной работе представлены результаты исследований в области создания технологической оснастки для широкополосной газопорошковой лазерной наплавки. Проводится обзор применимости данной технологии в машиностроительном производстве, приводятся данные об уровне ее развития в различных странах, в том числе и в России. Описываются особенности оптической схемы, необходимой для фокусировки пучка лазерного излучения в пятно прямоугольной формы. Приводятся примеры диаграмм распределения энергии лазерного излучения и плотности мощности по этому пятну. Делаются выводы о результатах разработки конструкции порошковых сопел, изучаются параметры взаимодействия газопорошковых потоков, формируемых двумя обособленными порошковыми соплами, а также обозначается ряд направлений для дальнейших исследований.

Новым шагом в развитии технологии лазерной наплавки стало применение специальной оптики и создание технологической оснастки, позволяющих в разы повысить производительность обработки путем увеличения площади детали, обрабатываемой в единицу времени (см. [2, 4]). Это стало возможным благодаря созданию линзовых систем, фокусирующих лазерное излучение в пятно прямоугольной формы, площадь которого существенно превышает площади большинства круговых пятен, применяемых при лазерной наплавке (см. рис. 1), и порошковых сопел, позволяющих подавать порошок в область воздействия луча в виде струи прямоугольного сечения. Вместе с этим использование современных высокомошных волоконных и полупроводниковых лазеров позволило достичь значений плотности мощности в прямоугольном пятне нагрева, достаточных для наплавки увеличенной массы присадочного порошкового материала, непрерывно поступающего в зону обработки, а сама модернизированная технология получила название широкополосной лазерной наплавки (или наплавки в широкую полосу). Вышеперечисленные достижения играют важную роль в первую очередь в обработке (ремонте, восстановлении, повышении эксплуатационных свойств) крупногабаритных деталей машиностроения, таких как буровое оборудование, детали самолето-, автомобиле- и кораблестроения. На настоящий момент широкополосная газопорошковая лазерная наплавка наиболее активно развивается в таких странах, как Германия, Япония и США, однако и в Российской Федерации есть ряд научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, лабораторий и опытных предприятий, где данная технология изучается, совершенствуется и применяется при решении конкретных производственных задач. Одним из таких научных центров является кафедра «Лазерные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана. На ее базе

авторами статьи были проведены исследования, результаты которых приводятся в настоящей статье наряду с обзором уже известных экспериментальных и теоретических данных.

Как было сказано выше, на рис.1 проиллюстрировано основное преимущество широкополосной наплавки перед традиционной лазерной наплавкой, заключающееся в возможности увеличить площадь пятна нагрева и, как следствие, производительность процесса, сохраняя неизменной плотность мощности лазерного излучения:

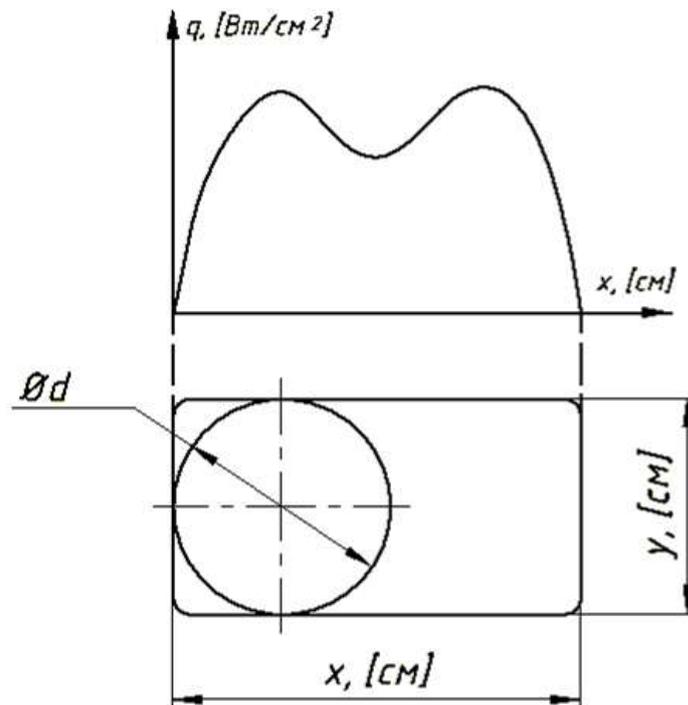


Рис. 1. Одно из возможных распределений плотности мощности по прямоугольному пятну нагрева; примерные форма и соотношение площадей пятен нагрева при традиционной лазерной наплавке лучом круглого сечения и широкополосной наплавке лучом прямоугольного сечения.

На рис. 2 представлен пример оптической схемы, позволяющей сфокусировать луч в пятно прямоугольной формы, а на рис. 3 - диаграмма распределения энергии по этому пятну (см. [5]).

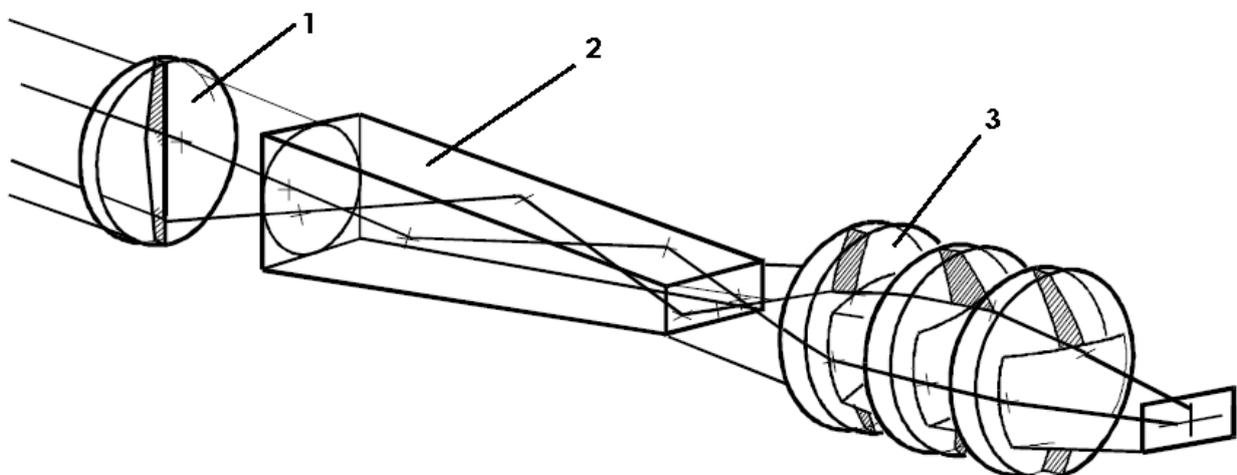


Рис. 2. Оптическая схема, позволяющая получить прямоугольную форму поперечного сечения лазерного луча в плоскости обработки.

Позиции на оптической схеме:

1 - аксикон (специализированный тип линзы, одна из сторон которой имеет коническую форму);

2 - собирающий оптический ящик (с англ.: «integrating box», см. [5]);

3 - фокусирующая линзовая система.

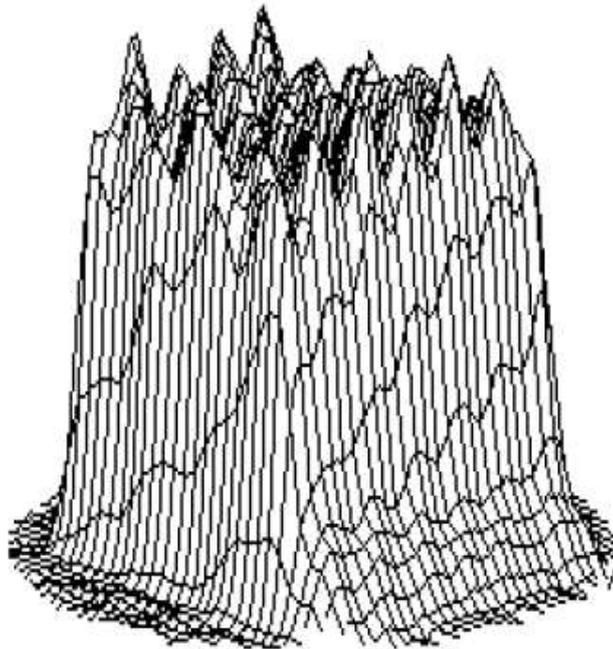


Рис. 3. Диаграмма распределения энергии лазерного излучения в пятне, создаваемом при помощи оптической схемы, представленной на рис. 2.

Еще одним важным преимуществом широкополосной наплавки перед традиционной лазерной наплавкой является возможность уменьшить объем пустот между валиками, что позволяет получить более сплошную структуру наплавленного слоя и сократить размеры области перекрытия, достигая существенной экономии порошкового материала:

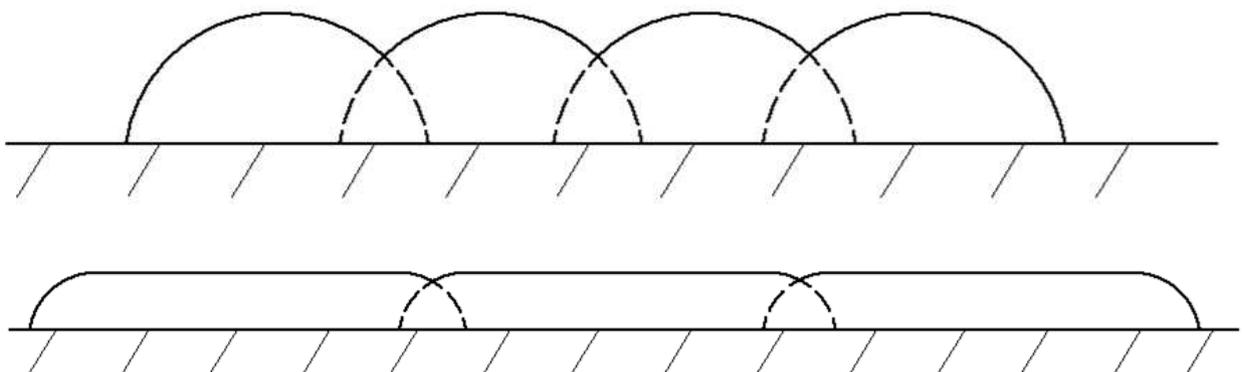


Рис. 4. Геометрия формирования валиков при традиционной (верхняя схема) и широкополосной (нижняя схема) газопорошковой лазерной наплавке.

На рис. 5 представлены фотографии газопорошкового потока, формируемого четырьмя различными соплами, каждое из которых было спроектировано и изготовлено при непосредственном участии авторов статьи на базе лабораторий кафедры МТ12 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Съемка производилась с использованием скоростной камеры Fastvideo 500M, оснащенной объективом Nikon CL-45, порошок подавался при помощи порошкового питателя GTV PF 2/2, освещение обеспечивалось при помощи двенадцати непроницаемых для частиц порошка светодиодов, расположенных под порошковым соплом.

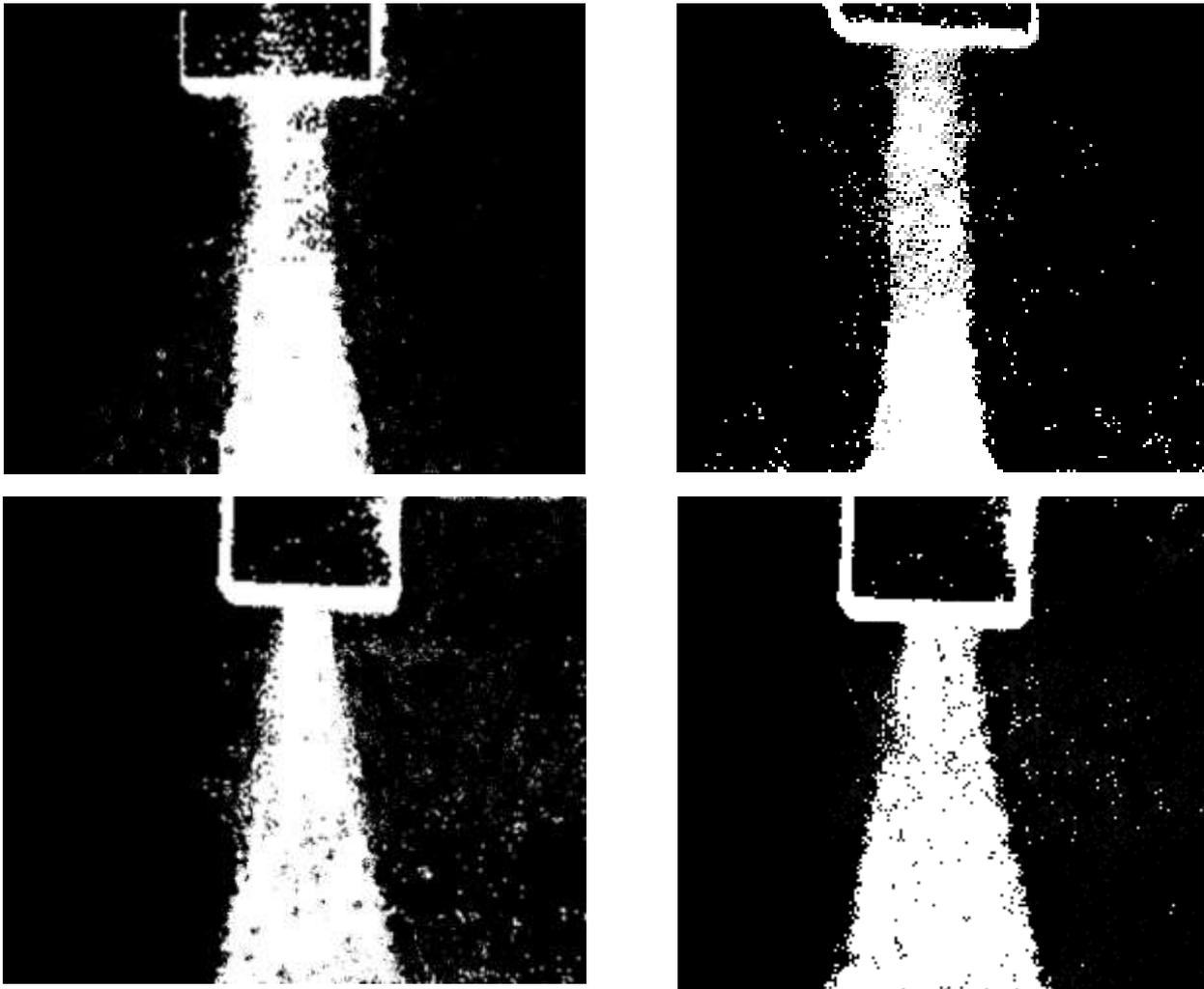


Рис. 5. Фотографии газопорошкового потока, формируемого различными соплами. Верхний ряд, слева направо: сопло с параллельными внутренними поверхностями стенок и шириной выходного отверстия 1 [мм]; аналогичное сопло с шириной выходного отверстия 2 [мм]; нижний ряд, слева направо: сопло с углом наклона внутренних поверхностей стенок друг к другу $\alpha = 0.95^\circ$ и шириной выходного отверстия 2 [мм]; аналогичное сопло с углом наклона внутренних поверхностей стенок друг к другу $\alpha = 1.91^\circ$. Примечание. При изготовлении сопел с наклонными внутренними поверхностями стенок на рабочих чертежах задавался перепад толщин задней стенки: от 2 к 3 [мм] и от 2 к 4 [мм]. Указанные выше значения углов были получены вследствие выполнения этого требования.

Сравнение геометрии различных сопел проводится по признаку расходимости газопорошковой струи на выходе: чем расходимость ниже, тем меньше будут потери

порошка при обработке, выше качество формируемого валика и производительность процесса. Результаты расчета расходимости для четырех рассматриваемых в данной работе сопел приведены в табл. 1, а на рис. 6 представлена использованная расчетная схема.

Таблица 1

Расходимость газопорошковой струи, формируемой соплами различной геометрии.

Угол наклона внутренних поверхностей стенок сопла друг к другу, [°]	Ширина выходного отверстия сопла, [мм]	Расходимость струи, [°]
0	1	$\gamma = 2 \cdot \arctg\left(\frac{b-y}{2L}\right) =$ $= 2 \cdot \arctg\left(\frac{2.6-1}{20}\right) = 9.14^\circ.$
0	2	$\gamma = 2 \cdot \arctg\left(\frac{b-y}{2L}\right) =$ $= 2 \arctg\left(\frac{4.2-2}{20}\right) = 12.54^\circ.$
0.95	2	$\gamma = 2 \cdot \arctg\left(\frac{b-y}{2L}\right) =$ $= 2 \arctg\left(\frac{4.9-2}{20}\right) = 16.50^\circ.$
1.91	2	$\gamma = 2 \cdot \arctg\left(\frac{b-y}{2L}\right) =$ $= 2 \arctg\left(\frac{5.2-2}{20}\right) = 18.18^\circ.$

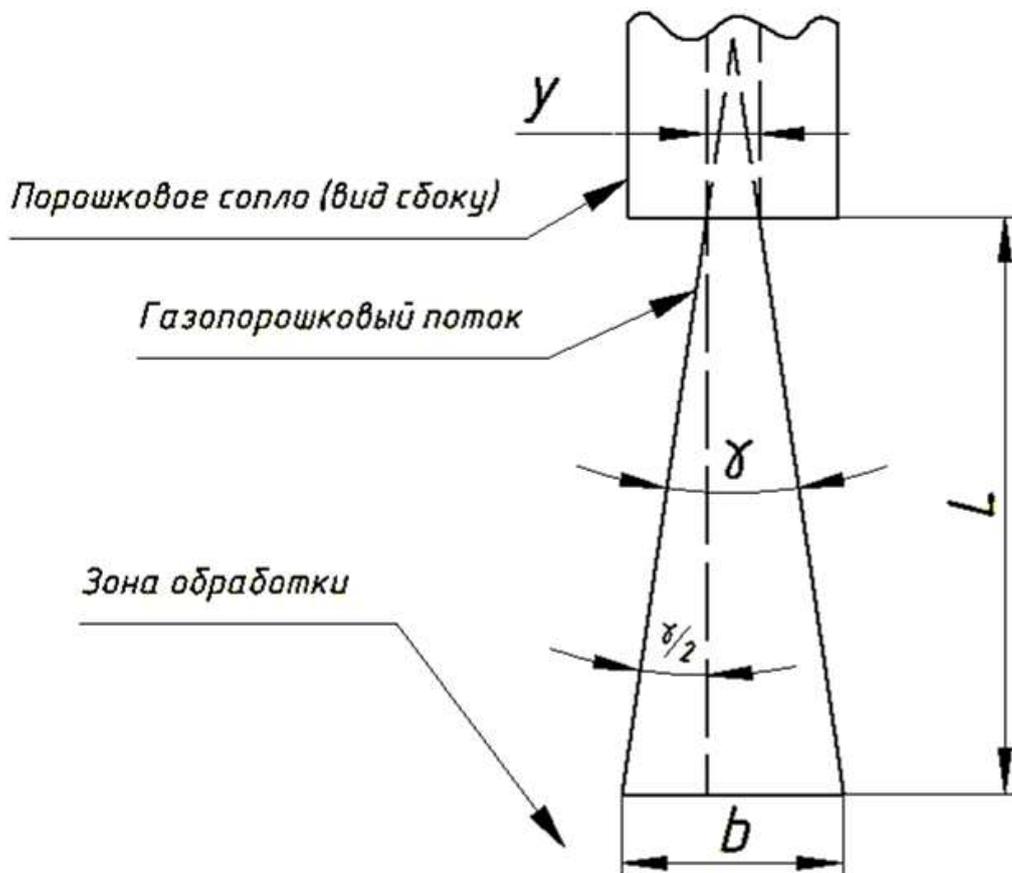


Рис. 6. Расчетная схема для определения расходимости газопорошкового потока.

Здесь y - ширина выходного отверстия порошкового сопла (отверстие имеет прямоугольную форму, под шириной понимается меньшая сторона прямоугольника); γ - расходимость струи, L - расстояние от выходного отверстия сопла до произвольно выбранного расчетного сечения (в данной работе принято $L = 10$ [мм]); b - ширина струи в расчетном сечении.

По результатам расчетов можно сделать вывод о том, что сопло с шириной выходного отверстия $y = 1$ [мм] и параллельными стенками дает на выходе газопорошковый поток с наименьшей расходимостью и, как следствие, имеет конструктивное преимущество перед остальными образцами сопел.

Для обеспечения симметричности подачи порошка в зону обработки при широкополосной лазерной наплавке два порошковых сопла должны быть единообразно закреплены по разные стороны от лазерной головки. В связи с этим возникает необходимость изучения взаимодействия двух газопорошковых потоков от одинаковых обособленных сопел в двух различных случаях: случай первый - взаимодействие рассматривается в условиях отсутствия лазерного излучения, т.е. изучается только процесс перемешивания двух струй; случай второй - взаимодействие рассматривается при наличии лазерного источника, т.е. непосредственно в процессе обработки. В настоящей статье рассмотрен только случай первый, рассмотрение второго решено провести в рамках дальнейших исследований, результаты которых будут освещены в последующих работах.

Для изучения взаимодействия двух газопорошковых потоков был создан лабораторный стенд (схему стенда см. на рис. 7).

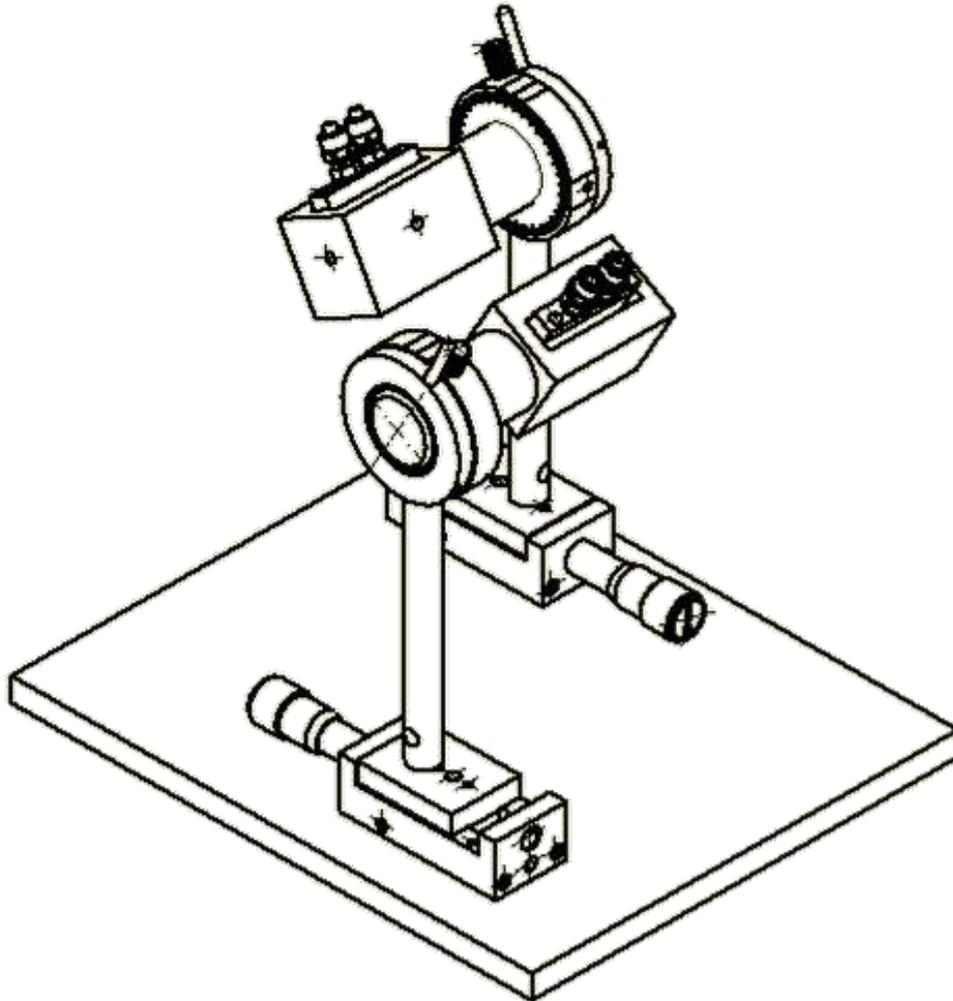


Рис. 7. Схема лабораторного стенда, созданного для изучения взаимодействия двух газопорошковых потоков, разработанного и собранного на базе ООО «МЦЛТ». Стенд состоит из двух закрепленных на неподвижной платформе линейных трансляторов, которые служат основаниями для двух вертикальных стоек с поворотными трансляторами, в которых размещены порошковые сопла в специальных держателях.

Испытания, проведенные на стенде, показали следующие результаты:

1. Частицы порошка в газопорошковых потоках от каждого сопла под действием силы тяжести, силы давления подающего газа, сил взаимодействия с соседними частицами и силы сопротивления воздуха распространяются по траекториям, приближенным к параболическим, что полностью согласуется с теоретическими расчетами.

2. Среди всех технологически и конструктивно допустимых расположений сопел существует такое расположение, при котором область пересечения газопорошковых струй имеет минимальную площадь (см. рис. 8). Именно это расположение, которое

характеризуется определенными значениями угла наклона сопел друг к другу и расстоянием между ними, является наилучшим для осуществления обработки.

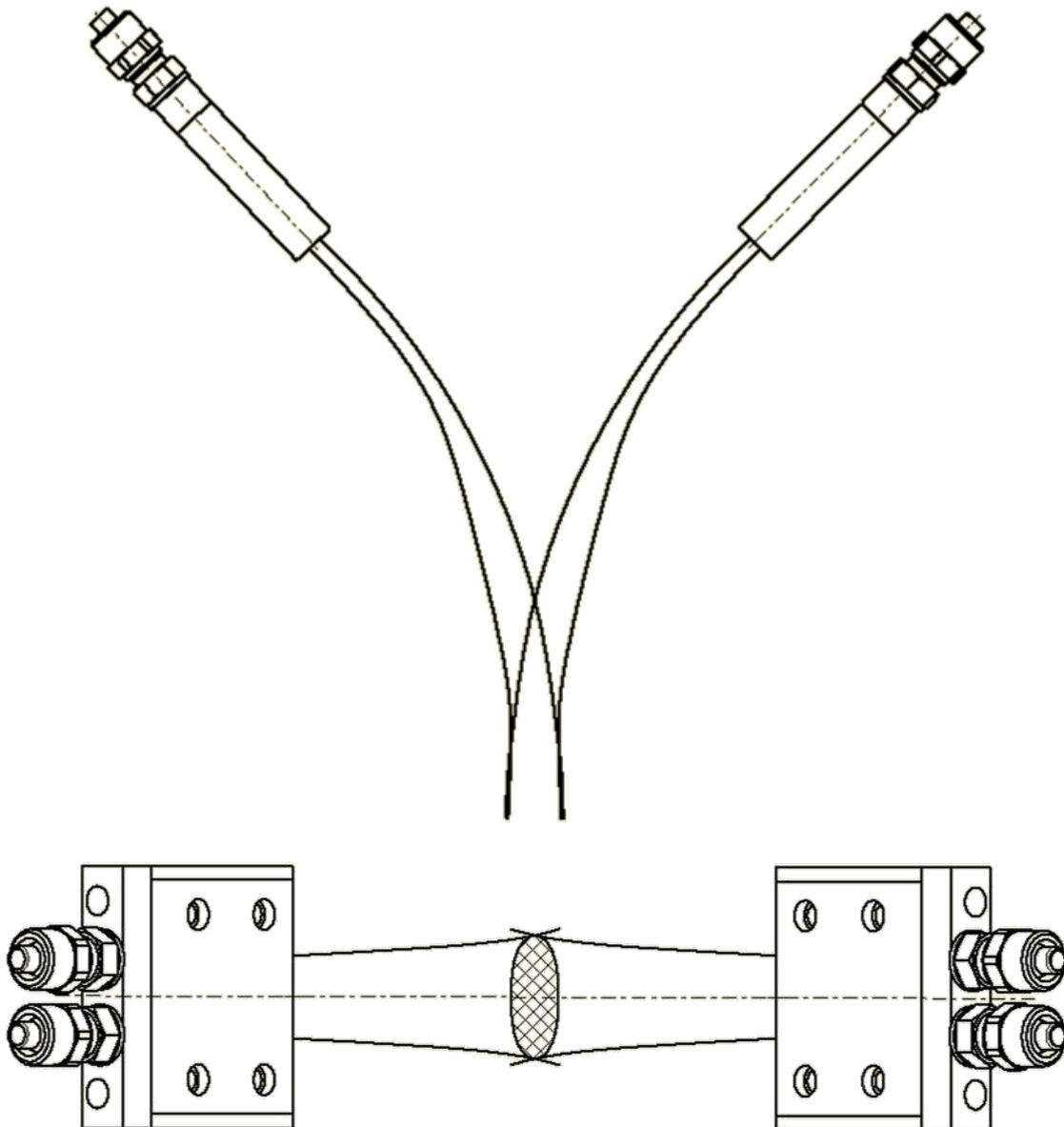


Рис. 8. Схема распространения частиц порошка в газопорошковых потоках от двух обособленных сопел, расположенных так, что область пересечения газопорошковых потоков имеет минимальную площадь.

Подводя итог, следует подчеркнуть, что, хотя и была найдена конструкция порошкового сопла, дающая на выходе наименьшую по сравнению с аналогами расходимость газопорошкового потока, а также взаимное расположение сопел, позволяющее вести обработку при минимальной площади области пересечения газопорошковых струй (что сокращает потери порошка и увеличивает его насыпную плотность в зоне обработки), для проведения технологического процесса также необходимо определить, как следует располагать плоскость пересечения газопорошковых струй

относительно фокуса лазерного излучения при решении различных технологических задач, а также разработать перечень режимов обработки для различных материалов основной детали и покрытия.

Литература

1. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – С. 323-333.
2. Мисюров А.И., Федоров Б.М., Шиганов И.Н. и др. Технология лазерной наплавки: Учеб. пособие. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 40 с.
3. Ставертий А. Я., Третьяков Р.С. Исследование процесса получения износостойких композиционных покрытий с помощью излучения волоконного лазера. [Электронный ресурс] //Третья Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая весна 2010: Машиностроительные технологии» / МГТУ им. Н.Э Баумана. – Электрон. дан. – М.: МГТУ, 2010. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: ПЭВМ, ОС Windows.
4. John M. Naake. Weld puddle forming and shaping for enhanced laser cladding. Titanova, inc. St. Charles, Missouri, USA, 2012.
5. Marcel F. Schneider. Laser cladding with powder. Effect of some machining parameters on clad properties. Ph.D. Thesis University of Twente, Enschede, the Netherlands, 1998.