

С.Ф. Агешин, А.А. Азаров, В.В. Попов, И.Н. Сисакян

ПРИМЕНЕНИЕ ФОКУСАТОРОВ В ЗАДАЧАХ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

В последнее время во многих отраслях промышленности, в медицине и т.д. стали широко использовать лазеры. В связи с этим возникают новые задачи управления лазерным излучением. Под управлением понимается изменение направления лазерного излучения со временем и его фокусировка.

Для этого были созданы оптические элементы, названные фокусаторами, которые фокусируют падающее на них излучение с известным распределением интенсивности в плоскую кривую с заданным распределением интенсивности вдоль нее или в набор точек, отрезков [1]. Были рассчитаны и изготовлены фокусаторы, концентрирующие излучение CO_2 -лазера с гауссовым распределением в отрезок с равномерным распределением интенсивности по длине, наборы точек в виде букв и цифр и др. Эти элементы можно применять в различных задачах лазерной технологии. Рассмотрим некоторые из них.

Широкое применение лазеры нашли в задачах термообработки металлов, таких как термоупрочнение, легирование. С помощью мощных технологических CO_2 -лазеров осуществляют нагрев поверхности металла, а затем при быстром охлаждении происходит его закалка. При этом закаливается только поверхностный слой, что увеличивает износоустойчивость детали и исключает ее деформацию. Поскольку для быстрого нагревания металла необходимо получить большую плотность мощности, излучение лазера фокусируется в точку,

а чтобы закалить определенный участок поверхности с помощью специальных устройств-сканаторов, которые имеют зеркала, колеблющиеся по определенному закону, осуществляют сканирование по заданной площади, т.е. закалку производят с помощью многократных проходов сфокусированным лазерным пучком [2]. В местах перекрытия происходит частичное нагревание уже закаленного участка и его отпуск, что не позволяет равномерно закалить достаточно большой участок поверхности. Поэтому наиболее подходящим вариантом для закаливания поверхности является использование оптического элемента, реализующего равномерное распределение энергии лазерного излучения вдоль некоторого отрезка. Перемещая деталь в поперечном направлении к отрезку, можно получить равномерно закаленную полосу. Для получения достаточной плотности мощности необходимо получить поперечное сечение отрезка с минимальной шириной. Аналогичное требование возникает и при лазерном легировании металлов. В этом случае на поверхность детали наносится нужное вещество в виде порошка. При расплавлении под действием лазерного излучения в поверхностном слое образуется сплав.

С целью демонстрации возможности перераспределения энергии в отрезок был изготовлен фокусатор, преобразующий излучение одномодового CO_2 -лазера с гауссовым распределением интенсивности

и с $W_0 = 16$ мм в отрезок шириной 400 мкм и длиной 20 мм. Отрезок располагался на расстоянии 30 см от фокусирующего элемента.

На рис. 1 представлена амплитудная маска такого фокусатора и результат фокусировки. На рис. 2 показано экспериментально измеренное распределение интенсивности вдоль отрезка. Имеются некоторые отклонения от равномерности в пределах 10%. Однако в задачах термоупрочнения поверхности это допустимо, т.к. небольшая неравномерность сглаживается за счет теплопроводности металла.

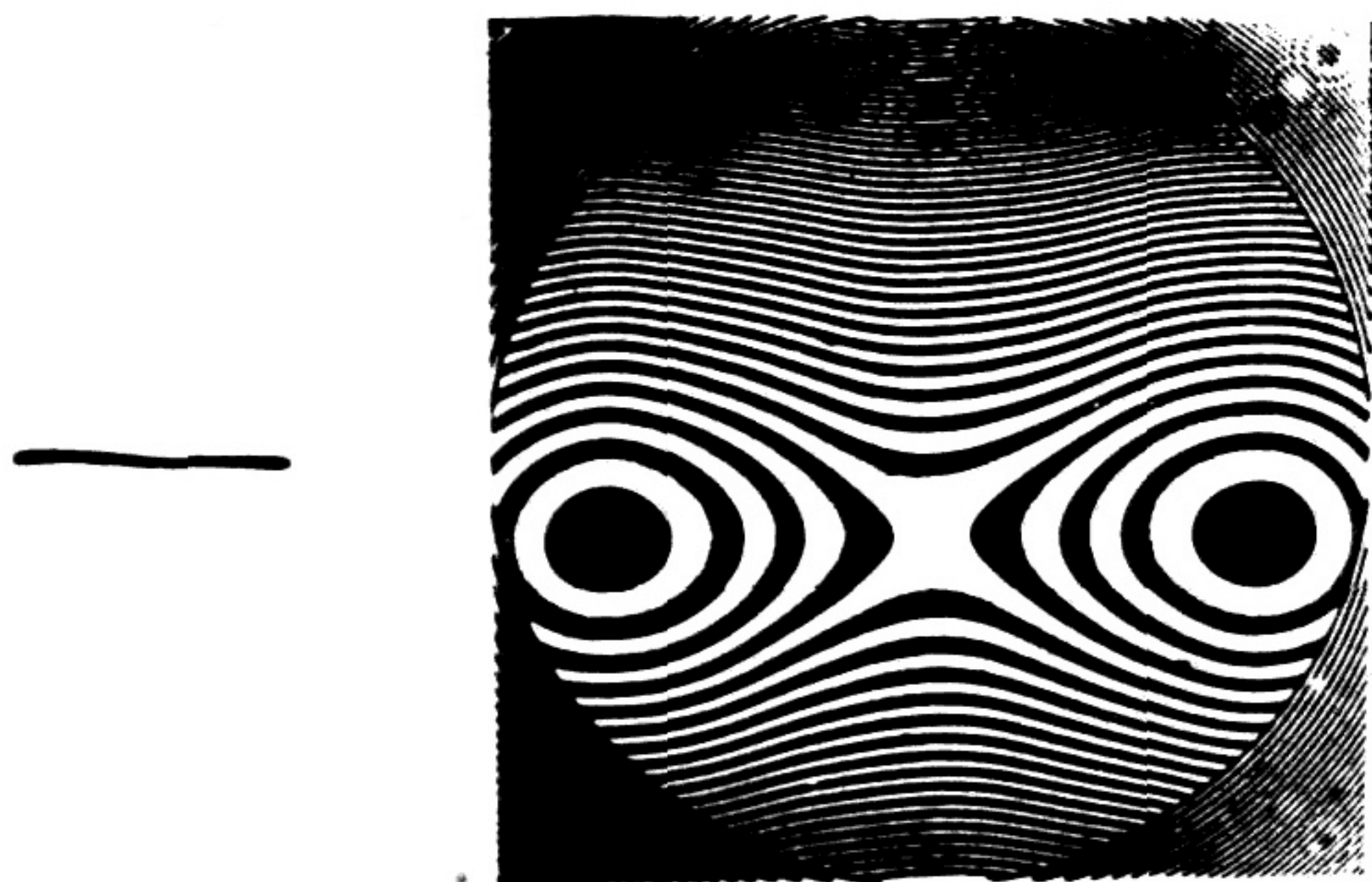


Рис. 1. Амплитудная маска фокусатора, концентрирующего лазерное излучение в отрезок с равномерным распределением интенсивности по длине и результат фокусировки

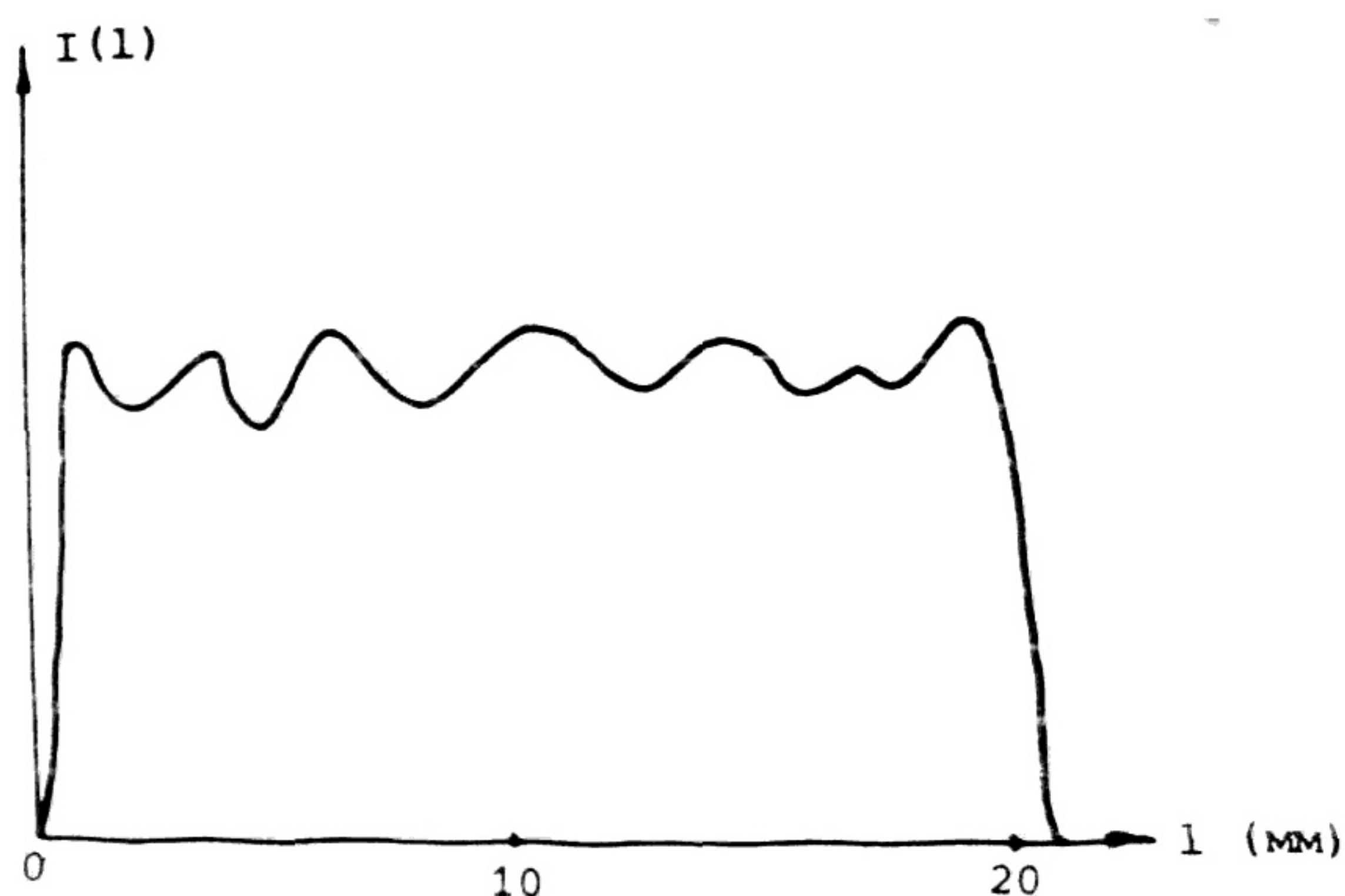


Рис. 2. Экспериментально полученное распределение интенсивности вдоль отрезка

В лазерной технологии применяются источники излучения с выходной мощностью порядка 1÷5 кВт. Это предъявляет дополнительные требования к оптическим системам: они должны выдерживать достаточно большие мощности, иметь возможность охлаждения и в то же время быть достаточно удобны в работе.

С изготовленных на бихромированном желатине фокусаторов могут быть сняты гальванокпии, которые при работе выдерживают большие плотности мощности. В

частности, была проверена работа гальванокпии с падающим излучением мощностью 1,5 кВт (без охлаждения). Медные гальванокпии с охлаждением могут работать в течение продолжительного времени с излучением мощностью 5 кВт, что позволяет с успехом использовать их в технологии лазерного термоупрочнения металлов, легирования. Одновременно с фокусировкой такой элемент осуществляет поворот излучения на 90° , т.е. вместо системы "зеркало + фокусирующее устройство" можно обойтись только одним фокусатором.

Широкое распространение получила лазерная резка материалов. Основное требование здесь - получение высокой плотности мощности, что достигается с помощью максимально возможной остроты фокусировки. Для фокусировки излучения CO_2 -лазера ($\lambda = 10,6$ мкм) применяют сферические линзы, для изготовления которых требуются либо дорогостоящие материалы (например, ZnSe, GaAs), либо недостаточно стойкие к атмосферному воздействию (например, NaCl, KCl). Кроме того, из-за сферической аберрации одиночной линзы диаметр сфокусированного пятна получается обычно около 1÷2 мм.

В задачах, требующих получение острой фокусировки, можно применять фокусатор, являющийся аналогом внеосевого параболического зеркала. Были изготовлены отражающие фокусаторы, концентрирующие излучение CO_2 -лазера с гауссовым распределением интенсивности в пятно диаметром 0,5 мм. Одновременно с фокусировкой фокусатор поворачивает излучение на 90° (поворот и фокусировка осуществляются одним элементом). Такие фокусаторы позволяют получить большие плотности мощности в фокальной плоскости, что необходимо, например, для резки материалов, сварки металлов.

С помощью лазерного излучения возможна и маркировка изделий. Это можно осуществить с помощью облучения детали лазером через маску. Однако, в этом случае, во-первых, необходима высокая мощность исходного излучения, а во-вторых, способ имеет низкую эффективность из-за больших потерь на поглощение в маске. Лишен таких недостатков другой способ, который заключается в сканировании луча по определенной траектории, соответствующей требуемому знаку метки. Но здесь, как и для закалки, необходим сложный сканатор.

Сложные системы, управляющие излучением лазера, можно заменить набором оптических элементов, каждый из которых фокусирует падающее излучение в набор точек или отрезков, расположенных в фокальной плоскости в виде буквы или цифры. Это осуществляется следующим образом: поверхность фокусатора разбивается на несколько частей, каждая из которых фокусирует излучение в точку, расположенную на фокальной плоскости в строго определенном месте. В этой точке под действием высокой интенсивности излучения меняется структура поверхности ма-

териала и на нем остается след в виде маркировочной метки. Смена маркировочных меток может производиться путем простой замены одного фокусатора другим. Эффективность по энергии такого метода гораздо выше, чем метода маркировки деталей с помощью масок, т.к. нет никаких экранировок и используется почти все падающее излучение.

На рис. 3 приведен пример амплитудной маски оптического элемента, фокусирующего излучение лазера в букву, составленную из точек и результат работы этого фокусатора.

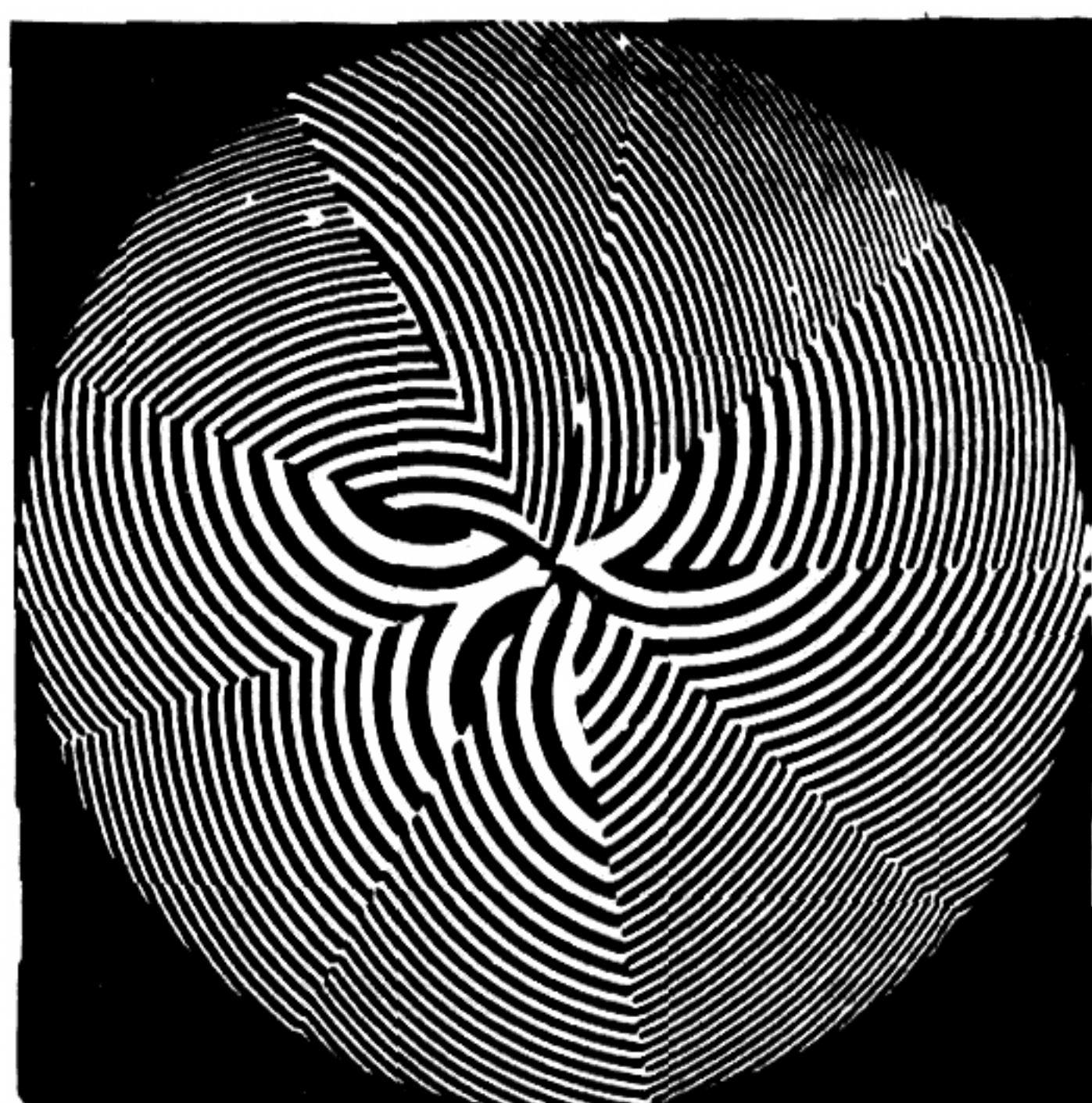


Рис. 3. Амплитудная маска фокусатора, концентрирующего излучение CO_2 -лазера в набор точек, расположенных в виде буквы и результат работы этого фокусатора

Особенности лазерного излучения позволяют применять лазеры в медицине в качестве хирургического инструмента. Например, в офтальмологии с помощью лазера можно делать надрезы определенной формы на роговице глаза для изменения ее радиуса кривизны. Так как глаз трудно зафиксировать на одном месте, то желательно сделать сразу несколько надрезов одновременно.

Были изготовлены фокусаторы, концентрирующие излучение CO_2 -лазера и четыре радиальных отрезка, расположенных в виде креста. С помощью такого элемента можно сделать сразу четыре надреза за один лазерный импульс. Эксперименты на животных показали перспективность использования фокусаторов в офтальмологии [3].

Следует отметить, что изготовленные фокусаторы имеют некоторые недостатки. Так, их энергетическая эффективность достигает сейчас 80%, тогда как теоретически эффективность близка к 100%. Основная причина — неточное соответствие изготовленного рельефа расчетному. Вследствие этого возникают дополнительные фокусы и часть энергии не попадает на заданную кривую. Имеется еще и некоторое рассеяние за счет шероховатости поверхности фокусатора. В дальнейшей работе предполагается отработка более точного изготовления поверхности и, как следствие, увеличение качества фокусировки.

Л и т е р а т у р а

1. Гончарский А.В., Данилов В.А., Попов В.В., Прохоров А.М., Сисакян И.Н., Сойфер В.А., Степанов В.В. Решение обратной задачи фокусировки лазерного излучения в произвольную кривую // ДАН СССР, 1983. Т. 273, № 3.

2. Р е д и Дж. Промышленные применения лазеров. М., 1981.

3. А ко п я н В.С., Данилов В.А., Данилейко Ю.К., Наумиди Л.П., Попов В.В., Сисакян И.Н. Использование плоских неаксиально-симметричных фокусаторов в лазерной офтальмохирургии // Квантовая электроника, 1985. Т. 12, № 2.