

УДК 621.785.6:544.032.65:621.3.038.615

МОДУЛЬ АВТОФОКУСИРОВКИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Луцкович З.М., Лапковский А.С., Фёдорцев Р.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассматриваются механизмы упрочнения изделий из металла путем воздействия на них лазерного излучения (лазерная закалка). Представлены способы повышения эффективности лазерной закалки. Расчеты на прочность зубчатого колеса после лазерного упрочнения показали глубину упрочнения металла в приповерхностном слое около 1 мм. Также приведен расчет перетяжки лазерного излучения для достижения необходимой твердости и глубины закалки.

Ключевые слова: закалка, лазерное излучение, крупногабаритные изделия, автофокусировка.

AUTOFOCUS MODULE FOR LASER HARDENING OF LARGE-SIZED PRODUCTS

Lutskovich Z.M., Lapkovsky A.S., Feodortsau R.V.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The article discusses the mechanisms of strengthening metal products by exposing them to laser radiation (laser hardening). Methods for increasing the efficiency of laser hardening are presented. Calculations of the strength of a gear after laser hardening showed a depth of metal hardening in the surface layer of about 1 mm. A calculation of the laser radiation waist to achieve the required hardness and hardening depth is also given.

Key words: hardening, laser radiation, large-sized products, autofocus.

Адрес для переписки: Луцкович З.М., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: zlutskovich@gmail.com

Термоупрочнение изменяет свойства материала, увеличивая его сопротивляемость к трению, коррозии, влажности и другим неблагоприятным факторам. Традиционные методы закалки такие как индукционный нагрев или обработка пламенем являются контактными и высокоэнергетическими. Поэтому применение лазерной закалки для упрочнения поверхности металлов быстро изнашиваемых высоконагруженных деталей является эффективным методом термообработки.

Процесс полностью управляемый, поэтому лазерное оборудование подходит для упрочнения небольших и геометрически сложных элементов. Около 40 % излучаемой мощности поглощается поверхностью. Высокая температура меняет положение атомов углерода в структуре металла и происходит аустенитное превращение. По мере продвижения луча нагретый слой материала очень быстро остывает. Возникает эффект самоохлаждения. Быстрое снижение температуры предотвращает возврат к исходной металлической структуре. Это приводит к образованию мартенсита и значительному увеличению твердости. Глубина закалки составляет 0,1–1,5 мм, но для некоторых металлов она может быть увеличена до 2,5–3 мм. Выдерживание малых линейных расстояний обеспечивается точностью работы оптической фокусирующей системы в автоматическом режиме с компьютерным программным управлением.

В различных приложениях лазерной оптики при описании пучка излучения используют идеальное приближение, известное как Гауссов

пучок. Интенсивность в таком пучке распределена по закону Гаусса.

Для достижения максимальной эффективности производится расчет перетяжки лазерного пучка, перетяжкой пучка называется минимальный диаметр пучка, интенсивность в пределах которого составляет не ниже 13,5 % максимального значения, где лазерное излучение максимально эффективно.

Гауссово распределение симметрично убывает по мере удаления от центра пятна (центра интенсивности, проиллюстрировано на рисунок 1.

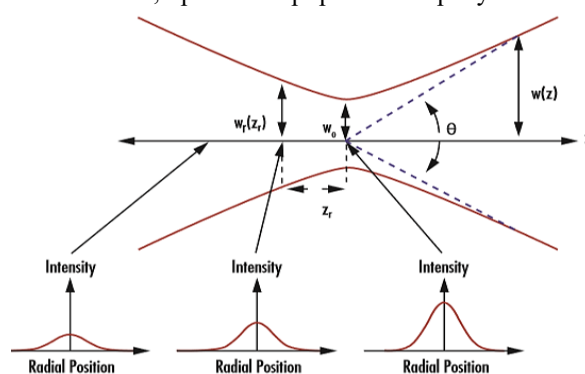


Рисунок 1 – Основные параметры гауссова пучка

Длина перетяжки Z_R определяется по формуле [1]:

$$Z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda},$$

где λ – длина волны лазерного излучения; w_0 – радиус лазерного пучка.

Длина волны поглощения большинства металлов составляет $\lambda = 1064$ нм. Радиус лазерного пучка зависит от выбранной фокусирующей системы.

Автофокусировка лазера происходит благодаря специальному сенсору или электронному устройству, измеряющему расстояние от луча до обрабатываемой поверхности (рисунок 2). Плоскость рабочего стола будет перемещаться вверх или вниз до той поры, пока датчик не определит самое лучшее для раскроя расстояние.

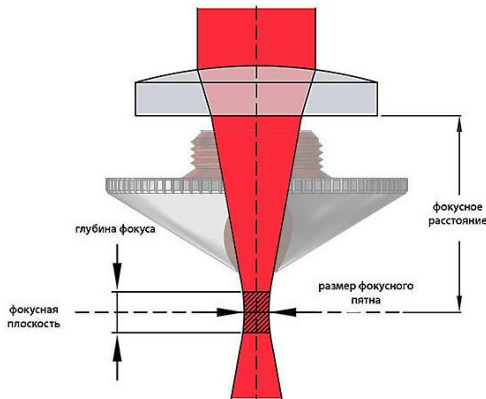


Рисунок 2 – Глубина перетяжки лазерного пучка

В зависимости от предназначения закаливаемых областей детали можно изменять глубину закалки меняя значение перетяжки лазерного пучка. Толщина обрабатываемого материала должна быть больше перетяжки лазерного пучка во избежание образования отверстия.

Лазерный автофокус – довольно интересное и в ряде случаев полезное технологическое решение, которым оснащены отдельные модели ЧПУ-оборудования. Сейчас же рассмотрим плюсы и минусы автофокуса для лазерного станка.

Далеко не всегда на ЧПУ-оборудовании, где режущим или гравирующим инструментом является сфокусированный пучок фотонов, приходится иметь дело с листовым материалом. Очень часто исполнителю необходимо гравировать выпуклые цилиндрические или сферические поверхности, заготовки переменной высоты и другие сложные формы. Соответственно, тут имеют место перепады высот и перманентные смещения фокуса относительно оптимального положения, настроенного предварительно.

В ряде случаев отражения смещения фокусной точки от этого значения сказываются на качестве обработки заготовки. Это может проявляться в неоднородности следов гравировки либо же на качестве торцовых поверхностей или самих краев изделия при резке.

Кроме того, неопытный исполнитель может допустить ошибки в определении оптимального фокусного расстояния при подготовке аппарата к работе. В таких случаях лазерная головка с автофокусом исправит допущенные ошибки, не допустив брака или оптимизируя качество изделия.

Из числа других преимуществ применения системы с автофокусировкой луча можно выделить:

– ускорение общего времени решения производственной задачи. Вынесение человеческого фактора за скобки позитивно сказывается не только на точности, но и на длительности цикла обработки;

– рост срок службы линз. Автофокус лазерного станка оптимизирует расстояние, обеспечивая тем самым работу компонентов в расчетных режимах эксплуатации. Соответственно, выход в режимы с перегревом линзы при должной работе системы охлаждения техники исключается.

Применение лазерного упрочнения широко, оно применяется для повышения износостойкости распредвалов, коленвалов, шестерен заднего моста, рабочих поверхностей клапанов, клапанных седел, поршневых канавок, компрессионных колец, рычагов, матрицы штампов, винты самолетов и других изделий.

При обработке крупногабаритных изделий с переменным рельефом важно поддерживать фокусное расстояние и перетяжку в зоне обработки во избежание недогрева и повторной обработки, что может привести к обратному эффекту и снизить прочность изделия.

Модуль автофокусировки позволит поддерживать постоянное значение перетяжки лазерного пучка в зоне обработки, вне зависимости от рельефа, что увеличит качество и скорость достигаемого результата закалки. Также для ускорения процесса используется сканирующая система, состоящая из двух зеркал, что позволяет образовать площадку из точки лазерного излучения, что также способствует ускорению процесса. Сканирующая система и обрабатываемая поверхность представлена на рисунке 3.

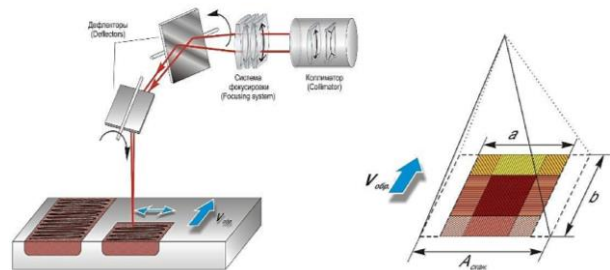


Рисунок 3 – Оптическая сканирующая система и пятно лазерного сканирования

Поверхности, которые выходят из зоны перетяжки прекращают обрабатываться автоматическим изменением обрабатываемой площадки лазерного излучения. За счет оси Z в оптической системе автоматически осуществляется регулирование фокусирующего расстояния для поддержания необходимой перетяжки для обрабатываемого изделия.

Литература

1. Распространение Гауссова пучка: понятие перетяжки пучка, глубины фокусировки, качества пучка, расходимости. INSCIENCE. Научные решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://inscience.ru/library/article_post/rasprostranenie-gaussova-puchka.

2. Девойно, О.Г. Обеспечение ресурсных параметров ответственных элементов механических трансмиссий с использованием поверхностных слоев, формируемых лазерными технологиями / О.Г. Девойно, И.В. Швец // Теоретическая и прикладная механика:

международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет; ред. кол.: А.В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 266–270.

УДК 618

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА БЕССЕЛЕВА ТИПА С ЗАДАНЫМ ПРОФИЛЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ

Макаревич А.П., Варанецкий А.М.

Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Разработана оптическая схема формирования лазерных пучков бесселева типа, пригодная для дальней оптической связи в свободном пространстве. Изготовлен телескоп формирующий заданный профилем распределения интенсивности пучка в дальней зоне.

Ключевые слова: зеркально-линзовая оптическая система, бесселевы световые пучки, аксикон.

LASER BESSEL-LIKE BEAM FORMER WITH A SPECIFIED INTENSITY DISTRIBUTION PROFILE

Makarevich A.P., Varanetski A.M.

Institute of Physics of the NAS of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The optical scheme for formation of laser Bessel-like beams used for remote optical communication in free space is developed. The telescope forming a specified intensity distribution profile is manufactured.

Keywords: mirror-lens optical system, Bessel light beams, axicon.

Адрес для переписки: Макаревич А.П., пр. Независимости, 68-2, г. Минск, 220072, Республика Беларусь
e-mail: a.makarevich@ifanbel.bas-net.by

Бесселевы световые пучки представляют практический интерес для реализации эффективных систем оптической связи в свободном пространстве на большие дистанции [1; 2]. Для получения требуемого профиля распределения интенсивности пучка в дальней зоне необходима оптическая система заданной кратности с подходящей остаточной аберрацией в уже сформированном кольцевом поле. Ключевыми элементами таких оптических схем являются асферические линзы и аксиконы. Основным недостатком таких оптических систем является относительная сложность и дороговизна изготовления асферических поверхностей большой апертуры, а наличие формирователя кольцевого поля и расширителя пучка в системе существенно удлиняют ее линейный размер.

Перед нами стояла задача разработать формирователь лазерного пучка бесселева типа с заданным профилем распределения интенсивности в дальней зоне (100 км): диаметр пучка 30м; осевая в интенсивность в 1,5–2 раза выше таковой для гауссова пучка; периферия пучка разбита на четыре зоны с заданным процентом энергии в каждой. Проектирование механической части телескопа предполагало свои особенности: габариты системы не должны превышать 130 мм в диаметре и 220 мм в длину; вес не более 5,5 кг; температурная стабильность должна сохраняться от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$; устойчивость к перегрузкам не хуже 4g.

С учетом данных требований был предложен подход по сокращению линейного размера устройства и замене асферической оптики на сферическую. За счет некоторого усложнения

оптической схемы длину телескопа удалось сократить почти вдвое, существенно уменьшить вес и осуществить компенсацию аберраций одних сферических поверхностей другими до приемлемого уровня. Эволюция конструкции формирователя лазерного пучка проходила по схеме: классическая схема телескопа Кассегрена с параболическим первичным и гиперболическим вторичным зеркалом, схема Максутава со сферическими зеркалами и мениском-компенсатором, оптимизированная зеркально-линзовая схема с плоским зеркалом и одним аксиконом (рисунок 1).

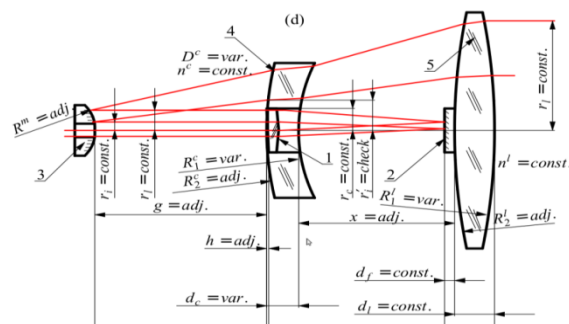


Рисунок 1 – Схема зеркально-линзового формирователя лазерного пучка: 1 – аксикон; 2 – плоское зеркало; 3 – сферическое зеркало; 4 – мениск-компенсатор; 5 – сферическая линза

Для оформления окончательной конструкции зеркально-линзовой оптической схемы мениск-компенсатор был перемещен на место расположения аксикона, который в этом случае вклеивался в отверстие данного элемента, что исключило применение крепежных элементов для него.