

ПРИНЦИПЫ КОМПОНОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИ СМЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ МОДУЛЕЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

П.А. Огин, Д.Г. Левашкин, К.С. Осипов

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

Статья посвящена вопросам разработки автоматически сменных модулей для реализации технологий лазерной обработки на станках ЧПУ. В основе решений использована элементная база оптоволоконных лазеров. Предложено техническое решение данного устройства, в котором оптическая система, коллиматор и излучатель лазера выполнены в виде отдельного модуля, скомпонованного из отдельных блоков, параметры каждого из которых определяются требованиями заказчика. При этом модуль выполнен сменным и вне рабочих циклов ЧПУ-обработки может быть установлен в инструментальном магазине станка. Модуль устанавливается в шпиндель из инструментального магазина станка автоматически по команде системы ЧПУ, а непосредственно источник излучения вынесен за пределы рабочей зоны станка. Связь с модулем обеспечивается оптоволоконным кабелем. Предложенное техническое решение будет востребовано на рынке производственных услуг за счет кратного снижения капиталоемкости, так как отсутствует необходимость приобретения отдельной позиции лазерного центра, обеспечивается высокая производительность и точность обработки, не требуется дополнительная транспортировка и переустановка детали, сокращаются потери времени на обработку всей детали. Применительно к этому в статье предложена методология перекомпонования устройств для лазерной обработки и приведены основы принципа их блочно-модульного компонования. В основе принципа блочно-модульного компонования лежит кинематический анализ устройств, который позволяет, исходя из требований заказчика, определить комплект блоков для компонования устройства в конечном состоянии поставки заказчику. Развитием этого стала возможность проработки конструкции устройств как на этапе анализа и модернизации уже существующих исполнений, так и на этапе подготовки коммерческого предложения заказчику.

Ключевые слова: энергоэффективные технологии, оптоволоконный лазер, автоматически сменный модуль, кинематическая связь, блочно-модульный принцип.

Введение

Обработка материалов с применением направленного излучения лазера является одним из самых быстроразвивающихся направлений производственных процессов на данный момент.

Универсальность применения луча лазера позволяет использовать лазерные технологии (ЛТ) в машиностроении, автомобилестроении, авиации и судостроении, других отраслях промышленности; а также на рынке медицины и телекоммуникаций [1–15].

В перспективе объем мирового рынка фотоники должен составить не менее 615 млрд долл.

Признавая важнейшую роль фотоники для современной цивилизации, 68-я сессия Генеральной Ассамблеи ООН в декабре 2013 года объявила 2015 год Международным годом света и технологий, основанных на использовании света, т. е., в современных технических терминах, годом фотоники. Правительство Российской Федерации в 2013 году утвердило план мероприятий «дорожную карту» «Развитие оптоэлектронных технологий (фотоники)».

Развитие технологического сектора фотоники происходит на базе разработок в области применения трех основных типов лазеров – газовых, твердотельных и волоконных [16–20].

Основным преимуществом волоконных лазеров является возможность доставки направленного излучения лазера в труднодоступные области зоны обработки по оптическому волокну на большие расстояния. При этом появляется возможность интеграции технических решений фотоники в базу современного металлообрабатывающего оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Наиболее прогрессивным техническим решением в этом направлении стало создание устройств, реализующих технологии лазерной обработки, в виде отдельных узлов или агрегатов, устанавливаемых в качестве отдельной единицы станочного оснащения в инструментальной системе станка. Однако применение таких технических решений в производственных условиях ограничено временем подготовки оборудования, необходимостью его переналадки и переустановки заготовок. Данный факт ограничивает эффективность применения технологий лазерной обработки совместно с современным металлообрабатывающим оборудованием с ЧПУ.

Современное состояние производства можно охарактеризовать острой потребностью в разработке станочного оснащения с возможностью гибкого и быстрого изменения его функциональных возможностей под переменные условия производства.

Целью данной работы стала проработка способов и механизмов компонования эффективных устройств, реализующих технологии лазерной обработки в рабочей зоне станка с ЧПУ, обеспечивающих на практике высокую гибкость и производительность обработки изделий с применением лазера.

За счет комплексного подхода предполагается сокращение издержек на реализацию рассматриваемых технологий на станочном оборудовании. За счет сокращения издержек, простоты и унификации предлагаемых технических решений с традиционным оснащением обеспечивается высокая эффективность технологий лазерной обработки.

1. Методика исследования

В рамках предлагаемого технического решения в устройстве лазерного модуля предполагается, укрупненно, наличие 4 блоков, последовательно соединенных между собой при помощи разъёмных соединений с заданными степенями подвижности:

- источник лазерного излучения;
- система доставки луча;
- оптическая система;
- установочный элемент для интеграции в инструментальную систему станка с ЧПУ.

По требованию заказчика, возможна замена блоков для возможности расширения технологических возможностей используемого устройства. Указанный принцип компонования устройств предлагается именовать блочно-модульным.

Общая схема компонования лазерного модуля согласно блочно-модульного принципа показана на рис. 1.

Приведенная на рис. 1 схема позволяет привести в соответствие для множества устройств $\{U(N)\}$ функцию $U(N)$ – заданную состоянием системы переменных N_i схему компонования модуля U_i (где $i = 1 \dots n$)

$$\{U(N)\} = \{U_i(N_i)\}_n. \quad (1)$$

Согласно схеме компонования (см. рис. 1), учитывая блочно-модульный принцип, выражение (1) принимает вид (2)

$$\{U(N)\} = \{U_i(N_i)\}_n = \{U1(N_m), U2(N_m), U3(N_m), \dots, Un(N_m)\}_1 \times \{U1(N_m + 1), U2(N_m + 2), U3(N_m + 3), \dots, Un(N_m)\}_2 \times \{U1(N_m), U2(N_m), U3(N_m), \dots, Un(N_m)\}_n, \quad (2)$$

где m – количественная характеристика набора конструктивных исполнений каждого блока в составе устройства; x – условное обозначение кинематической связи между блоками в схеме компонования модуля.

На практике, используя выражения 1 и 2, обеспечивается возможность получения множества N_i устройств в пространстве U , которому соответствует конечное состояние переменных i . В этом случае говорим о тождественно верном равенстве (1) и осуществляем выбор комплекта блоков, согласно (2).

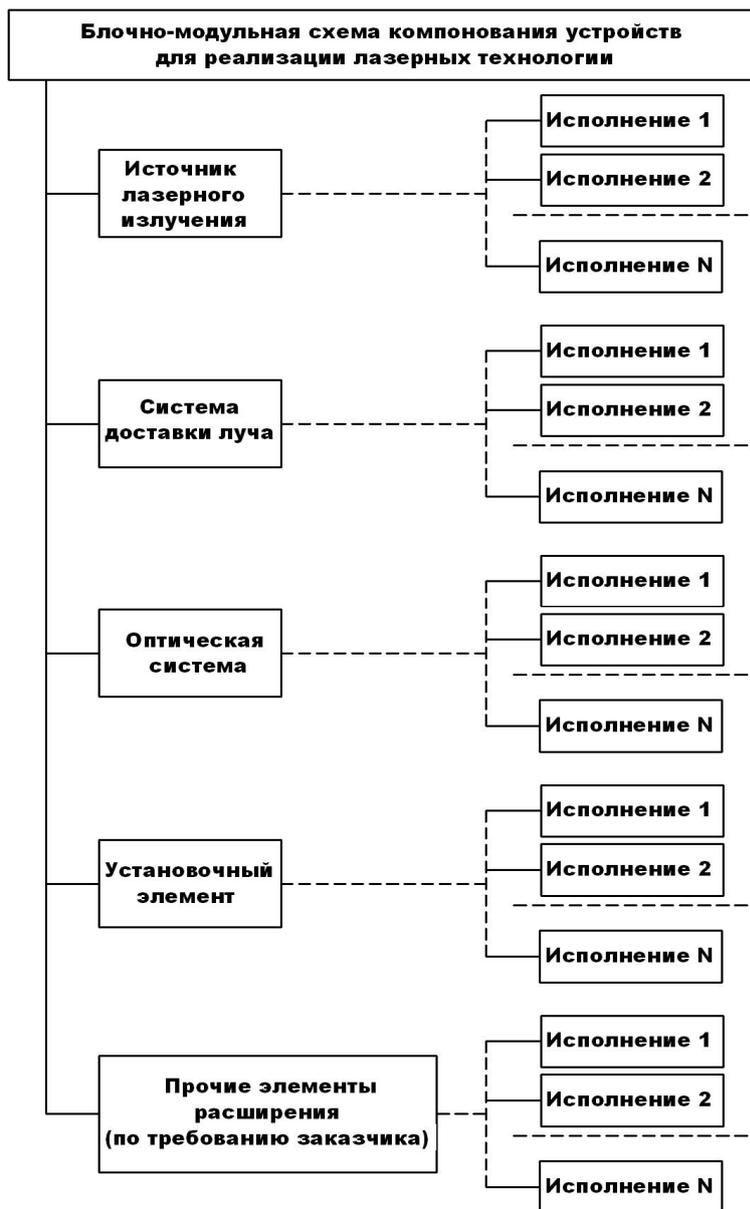


Рис. 1. Схема блочно-модульного компонования лазерных модулей

2. Моделирование

Каждому конструктивному исполнению лазерного модуля $U(N)$ соответствует свой необходимый и достаточный набор параметров N_i, N_m, U_n для решения поставленных задач технологий лазерной обработки.

Рассмотрим компонование, вариантных исполнений модуля $U1-U4$.

$U1$. Для станков с ЧПУ фрезерной и расточной групп и решения задач лазерного упрочнения, гравировки, сварки.

Согласно схеме рис. 2 и (1–2) выражение для схемы компонования данных устройств имеют вид:

– для решения задач лазерного упрочнения

$$U1_1 = \{U1(N_m) \times U2(N_m) \times U3(N_m) \times U4(N_m) \times U5(N_m)\}_1; \tag{3}$$

– для решения задач лазерной гравировки учитываем необходимость замены блоков $U1$ «Источник излучения», $U3$ «Оптическая система» устройства ($U1_2$)

$$U1_2 = \{U1(N_m+1) \times U2(N_m) \times U3(N_m+1) \times U4(N_m) \times U5(N_m)\}_2; \tag{4}$$

Технология

– для решения задач лазерной сварки учитываем необходимость замены блоков $U1$ «Источник излучения», $U3$ «Оптическая система» устройства ($U1_3$)

$$U1_3 = \{U1(N_m + 2) \times U2(N_m) \times U3(N_m + 2) \times U4(N_m) \times U5(N_m)\}_3. \quad (5)$$

Аналогично этому, проведя данные рассуждения для других видов устройств, запишем выражения.

$U2$. Для станков с ЧПУ фрезерной и расточной групп и решения задач реализации технологии лазерной наплавки учитываем необходимость замены блоков $U1$ «Источник излучения», $U3$ «Оптическая система», $U5$ «Элементы расширения» устройства ($U2_4$)

$$U2_4 = \{U1(N_m + 3) \times U2(N_m) \times U3(N_m + 3) \times U4(N_m) \times U5(N_m + 1)\}_4. \quad (6)$$

$U3$. Для станков с ЧПУ фрезерной и расточной групп и решения задач упрочнения, гравировки, сварки, а также резки деталей требуемой толщины согласно (3–5), необходима замена блоков источника излучения, оптической системы

$$U3_1 = \{U1(N_m) \times U2(N_m) \times U3(N_m) \times U4(N_m) \times U5(N_m)\}_1. \quad (7)$$

Развитием этих вопросов стала разработка в общем виде структуры блочно-модульной системы устройств для реализации технологий лазерной обработки на станках ЧПУ, которая представлена в виде схемы на рис. 2.



Рис. 2. Структура блочно-модульной системы устройств для реализации технологий лазерной обработки на станках ЧПУ

Согласно схеме, при создании автоматически сменных модулей, необходимо первоначально определить способ воздействия на заготовку. Здесь необходимо определить характеристику

станка-носителя: тип его инструментальной системы, особенности системы ЧПУ и функционирование системы автоматической смены инструмента. Далее определяется характеристики зоны воздействия на заготовку и осуществляется определение ее основных параметров. Определяют требования к источнику лазерного излучения. Затем осуществляют выбор источника лазерного излучения, способ передачи направленной энергии от источника к излучателю. Определяют технологические параметры технологии лазерной обработки. Следующим этапом является выбор типа оптической системы модуля. Данные виды работ позволяют определить технико-конструктивные параметры типовых блоков модуля, провести выбор комплекта блоков и выполнить их компонование.

3. Основные выводы и результаты

Применение в качестве принципа компонования лазерного модуля блочно-модульной составляющей позволит существенно сократить сроки проектирования и создания нового технического решения и конструкции лазерного модуля для выполнения различных технологических задач.

Выражение (2) позволяет на основе блочно-модульного принципа провести компонование лазерного модуля сочетанием параметров N , m , n под технические возможности оборудования заказчика и требованиям к реализуемым лазерным технологиям.

Используя выражения (1–2) на этапе проектирования автоматически сменных лазерных модулей, можно создавать различные по функциональному назначению и сложности устройства, с учетом таких особенностей автоматизированного оборудования, как его тип, компоновочное решение основных и вспомогательных узлов рабочей зоны, размеры рабочей зоны, направления основных и вспомогательных движений узлов, особенности системы позиционирования и управления оборудованием.

Блочно-модульный принцип, кроме возможности компонования модуля под реализуемые задачи, позволяет проводить расширение его функционала, для случаев производственной необходимости изменения задач решаемых на производстве, а также в случае перехода к комплексным технологиям, необходимым в процессе обработки изделия. В этом случае возможна частичная или полная модернизация модуля, с заменой или установкой дополнительных блоков расширения к уже имеющейся схеме его компонования.

4. Суждения и перспективы развития

Дальнейшим развитием блочно-модульной системы является изучение вопросов организации кинематических связей автоматизированного оборудования и автоматически сменных модулей для реализации технологий лазерной обработки на станках с ЧПУ.

Литература

1. Лопота, В.А. Легкие конструкции в современном машиностроении / В.А. Лопота // Сварка и диагностика. – 2008. – № 4. – С. 11–12.
2. Wiener, M. Laser seam stepper takes on conventional welding / M. Wiener // Industrial Laser Solutions. – 2015. – № 4. – P. 17–18.
3. Lora, Xie. China laser industry: Expert views / Xie Lora // Industrial Laser Solutions for Manufacturing. – 2012. – № 1, 2. - P. 14–15.
4. Шиганов, И.Н. Исследование технологических сред методом лазерного фазового анализа / И.Н. Шиганов, Д.М. Мельников // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». - 2015. – № 4. – С. 100–108.
5. Хтет Аунг Лин. Математическая модель эффективности использования лазерного излучения при гибридной обработке / Хтет Аунг Лин, М.В. Таксанц, А.И. Мисюрлов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2015. – № 3. – С. 71–79.
6. Siewert, A. Fiber Laser Seam Stepper Replacing Resistance Spot Welding / A. Siewert, K. Kraschel // Laser Technik Journal. – 2014. – № 4. – P. 52–55.
7. Сварка алюминиевых сплавов в авиакосмической промышленности / В.И. Лукин, О.Г. Осипенникова, Е.Н. Иода, М.Д. Пантелеев // Сварка и диагностика. – 2013. – № 2. – С. 47–51.
8. Блинков, В.В. Лазерные технологии в авиационной промышленности / В.В. Блинков // ЛазерИнформ. – 2009. – № 23 (422). – С. 5–9.

9. Shiner, B. Fiber laser in the aerospace industry / B. Shiner // *Industrial Laser Solutions for Manufacturing*. – 2014. – July/August. – P. 9–10.
10. Laser Welding Technologies for Aircraft Fuselage Panels / Chen Y., Li L., Tao W., Yang Z. // *POEM/MP3 (LTST) Technical Digest*. – 2012. – OSA. – P. 2.
11. Zhu, X. Ytterbium fiber laser based on fiber bragg grating inscribed point-by-point with femto-second laser / Zhu X., Pan Y. // *Qiangjiguang Yu Lizishu*. – 2011. – № 4. – P. 934–938.
12. Chen, L. Random distributed feedback fiber laser pumped by an ytterbium doped fiber laser / Chen L., Ding Y. // *Optik – international journal for light and electron optics*. – 2014. – № 14. – P. 3663–3665.
13. Gisario, A. Characterization of laser treated steels using instrumented indentation by cylindrical flat punch / A. Gisario, M. Barletta, A. Boschetto // *Surface and Coatings Technology*. – 2008. – Vol. 202, iss. 12. – P. 2557–2569.
14. Microstructure and mechanical properties of laser-welded joints of TWIP and TRIP steels / L. Mujica, S. Weber, H. Pinto et al. // *Materials Science and Engineering: A*. – 2010. – Vol. 527, iss. 7. – P. 2071–2078.
15. Grain refinement mechanism of multiple laser shock processing impacts on ANSI 304 stainless steel / Lu J.Z., Luo K.Y., Zhang Y.K. et al. // *Acta Materialia*. – 2010. – Vol. 58, iss. 16. – P. 5354–5362.
16. Adel, K.M. The effect of laser surface hardening on the wear and friction characteristics of acicular bainitic ductile iron / K.M. Adel, A.S. Dhia, M.J. Ghazali // *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*. – 2009. – Vol. 4, № 2. – P. 167–171.
17. Laser surface hardening of AISI H13 tool steel / Lee J.-H., Jang J.-H., Joo B.-D. et al. // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*. – 2009. – Vol. 19, № 4. – P. 917–920.
18. Laser transformation hardening on rod-shaped carbon steel by Gaussian beam / Kim J.-D., Lee M.-H., Lee S.-J., Kang W.-J. // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*. – 2009. – Vol. 19, № 4. – P. 941–945.

Огин Павел Александрович, аспирант кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, fantom241288@yandex.ru.

Левашкин Денис Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, levashkind@rambler.ru.

Осипов Кирилл Сергеевич, магистрант кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти.

Поступила в редакцию 5 октября 2016 г.

DOI: 10.14529/engin160406

STRATEGIES OF BUILD COMPOSITION AUTOMATIC CHANGEABLE THE LASER MODULES IN IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGIES LASER PROCESSING CNC

P.A. Ogin, fantom241288@yandex.ru,

D.G. Levashkin, levashkind@rambler.ru,

K.S. Osipov

Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation

The article is devoted to the development of plug-in modules for automatically implementing the laser processing technology on CNC machines. At the heart of solutions used element base fiber lasers. Proposed technical solution of the device in which the optical system, the collimator

and the laser emitter in the form of a single unit, composed of a single block, the parameters of each of which is determined by the requirements of the customer. When this module is replaceable and is working CNC machining cycles can be set in the tool magazine of the machine. The module is mounted in the spindle of the machine tool automatically stores the command NC system, and the radiation source is passed directly outside the working area of the machine. Communication with the module is provided by fiber optic cable. The proposed technical solution will be in demand in the market of industrial services, due to fold reduction in capital intensity, as there is no need to purchase a separate position of the laser center provides high performance and precision machining, no additional transportation and reinstallation of parts, reduced loss of time to process all the details. With reference to this article the methodology proposed are devices for laser treatment and are given based on the principle of modular build composition. The principle of modular build composition lies kinematic analysis devices, which allows, based on customer requirements, define a set of blocks for build composition device in the final state of delivery to the customer. The development of this device is the ability to study design at the stage of analysis and modernization of existing designs, and at the stage of preparation of the offer to the customer.

Keywords: energy-efficient technologies, fiber optic laser, automatic plug-in module, the kinematic linkage, block-modular strategy.

References

1. Lopota V.A. [Lightweight Design in Modern Engineering]. *Welding and Diagnostics*, 2008, no. 4, pp. 11–12.
2. Wiener M. Laser Seam Stepper Takes on Conventional Welding. *Industrial Laser Solutions*, 2015, no. 4 July/ August, pp. 17–18.
3. Lora Xie. China Laser Industry: Expert Views. *Industrial Laser Solutions for Manufacturing*, 2012, no. 1, 2, pp. 14–15.
4. Shiganov I.N., Melnikov D.M. Research into Process Fluids Using Laser Phase Analysis. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2015, no. 4, pp. 100–108.
5. Htet Aung Lin, Taksants M.V., Misurov A.I. Mathematical Model of the Efficiency in Hybrid Laser Processing. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2015, no. 3, pp. 71–79.
6. Siewert A., Krastel K. Fiber Laser Seam Stepper Replacing Resistance Spot Welding. *Laser Technik Journal*, 2014, no. 4, pp. 52–55.
7. Lukin V.I., Ospennikova O.G., Ioda E.N., Panteleev M.D. [Welding of Aluminum Alloys in the Aerospace Industry]. *Welding and Diagnostics*, 2013, no. 2, pp. 47–51.
8. Blinkov V.V. [Laser Technology in the Aviation Industry]. *LazerInform*, 2009, no. 23 (422), pp. 5–9.
9. Shiner B. Fiber Laser in the Aerospace Industry. *Industrial Laser Solutions for Manufacturing*, 2014, July/August, pp. 9–10.
10. Chen Y., Li L., Tao W., Yang Z. Laser Welding Technologies for Aircraft Fuselage Panels. *POEM/MP3 (LTST) Technical Digest*, 2012, OSA, p. 2.
11. Zhu X., Pan Y. Ytterbium Fiber Laser Based on Fiber Bragg Grating Inscribed Point-by-Point with Femtosecond Laser. *Qiangjiguang Yu Lizishu*, 2011, no. 4, pp. 934–938.
12. Chen L, Ding Y. Random Distributed Feedback Fiber Laser Pumped by an Ytterbium Doped Fiber Laser. *Optik – international journal for light and electron optics*, 2014, no. 14, pp. 3663–3665.
13. Gisario A., Barletta M., Boschetto A. Characterization of Laser Treated Steels Using Instrumented Indentation by Cylindrical Flat Punch. *Surface and Coatings Technology*, 2008, vol. 202, iss. 12, pp. 2557–2569.
14. Mujica L., Weber S., Pinto H., Thomy C., Vollertsen F. Microstructure and Mechanical Properties of Laser-Welded Joints of TWIP and TRIP Steels. *Materials Science and Engineering: A*, 2010, vol. 527, iss. 7, pp. 2071–2078.
15. Lu J.Z., Luo K.Y., Zhang Y.K., Sun G.F., Gu Y.Y., Zhou J.Z. Grain Refinement Mechanism of Multiple Laser Shock Processing Impacts on ANSI 304 Stainless Steel. *Acta Materialia*, 2010, vol. 58, iss. 16, pp. 5354–5362.

16. Adel K.M., Dhia A.S., Ghazali M.J. The Effect of Laser Surface Hardening on the Wear and Friction Characteristics of Acicular Bainitic Ductile Iron. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 2009, vol. 4, no. 2, pp. 167–171.

17. Lee J.-H., Jang J.-H., Joo B.-D., Son Y.-M., Moon Y.-H. Laser Surface Hardening of AISI H13 Tool Steel. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 2009, vol. 19, no. 4, pp. 917–920.

18. Kim J.-D., Lee M.-H., Lee S.-J., Kang W.-J. Laser Transformation Hardening on Rod-Shaped Carbon Steel by Gaussian Beam. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 2009, vol. 19, no. 4, pp. 941–945.

Received 5 October 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Огин, П.А. Принципы компонования автоматически сменных лазерных модулей при реализации технологий лазерной обработки на станках с ЧПУ / П.А. Огин, Д.Г. Левашкин, К.С. Осипов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 51–58. DOI: 10.14529/engin160406

FOR CITATION

Ogin P.A., Levashkin D.G., Osipov K.S. Strategies of Build Composition Automatic Changeable the Laser Modules in Implementation of Technologies Laser Processing CNC. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 51–58. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin160406
