

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ГОЛОВКИ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТОПОЛОГИИ ДЕТАЛЕЙ ЕЕ КОРПУСА И СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ КОЛЛИМАТОРА

А. Д. НИКОЛАЕВ, К. П. ПОМПЕЕВ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: senatorfirst1@gmail.com*

Предложен способ расширения технологических возможностей станков с числовым программным управлением путем интеграции в их состав волоконной лазерной системы. Для облегчения деталей корпуса лазерной головки с сохранением их параметров жесткости корпус модифицирован, некоторые элементы конструкции объединены, а все стенки корпуса стали более легкими и функциональными. Предложенная конструкция характеризуется удобством использования при сохранении жесткости. Новый корпус лазерной головки позволяет расширить перечень работ для станков с числовым программным управлением, что дает возможность сократить время изготовления не только одного изделия, но и конечного продукта в целом. Такой подход обеспечивает снижение расходов на содержание и обслуживание оборудования за счет интеграции его в станки с числовым программным управлением. Маркирование и изготовление деталей на одном станке позволяет не только автоматизировать процессы дальнейшей сборки конечного продукта, применив QR-коды, но и повысить точность нанесения маркировок и гравировок на изделие за счет одноэтапного процесса.

Ключевые слова: *металлообработка, станок с ЧПУ, обрабатывающий центр, внедрение, лазерная обработка, волоконный лазер*

Введение. Основной целью работы является инженерный анализ деталей корпуса лазерной головки (ЛГ) в САЕ-модуле САД-системы SolidWorks [1] и в САЕ-системе Patran Nastran после формирования их топологии, т.е. изменения пространственного расположения конструктивных элементов деталей.

Объединение лазерных технологий и технологий механической обработки позволит дополнить традиционные процессы фрезерования материалов маркировкой, гравировкой, микроструктурированием и др. [2]. Использование сконцентрированного потока энергии лазерного излучения в качестве рабочего инструмента позволит не только сократить расходы, связанные с износом механического контактного инструмента, но и выйти на принципиально новые диапазоны микрообработки различных изделий.

На одном обрабатывающем центре наряду с традиционными способами обработки заготовок из различных материалов методом резания станет возможным применение таких видов лазерной обработки, как маркирование [3], создание градиентной структуры и различной сложноконтурной регулярной микротопологии поверхностей [4, 5], доводка поверхностей, гравирование 3D-рельефов, обработка керамических поверхностей и труднообрабатываемых материалов [6, 7], макро- и микроструктурирование поверхностного слоя, резка сплавов

углепластика [8], локальное оксидирование поверхности (декорирование), локальное термоупрочнение, перфорация, сварка листового материала [9], обеспечение хранения информации на поверхности заготовок за счет нанесения микроразмерных штрих- и QR-кодов [3], используемых в информационных технологиях, цифровом производстве, металлизация и т.д. Лазерная головка может быть использована для локального физического воздействия [10], что существенно облегчает съем материала с заготовки инструментом, оснащенным режущей керамикой [11—13].

Для возможности использования лазерной системы на станке с ЧПУ необходимо частично или полностью модернизировать корпус ЛГ и адаптировать его под ручную установку в шпиндель станка оператором или наладчиком [14].

Корпус ЛГ должен быть спроектирован таким образом, чтобы его можно было легко отсоединить от коллиматора по завершении работ. Начальная конструкция и размеры ЛГ не позволяют использовать ее для установки вручную в шпиндель станка [15]. Необходимо не только сделать корпус более компактным, но и более легким за счет изменения топологии (пространственного расположения) большинства деталей корпуса.

Изменение конструкции. При изменении конструкции и топологии элементов деталей корпуса (рис. 1, *а* — исходная конструкция, *б* — измененная) большое внимание было уделено верхней стенке, так как к ней крепятся все элементы, включая инструментальный конус. Стенка должна удерживать всю массу конструкции в одной центральной точке, что подразумевает наличие большого количества ребер жесткости для уменьшения ее деформации. После формирования топологии вес верхней стенки снизился на 59 %: с 640 до 260 гр. Наличие ребер жесткости в верхней стенке позволило максимально сохранить прочностные характеристики.

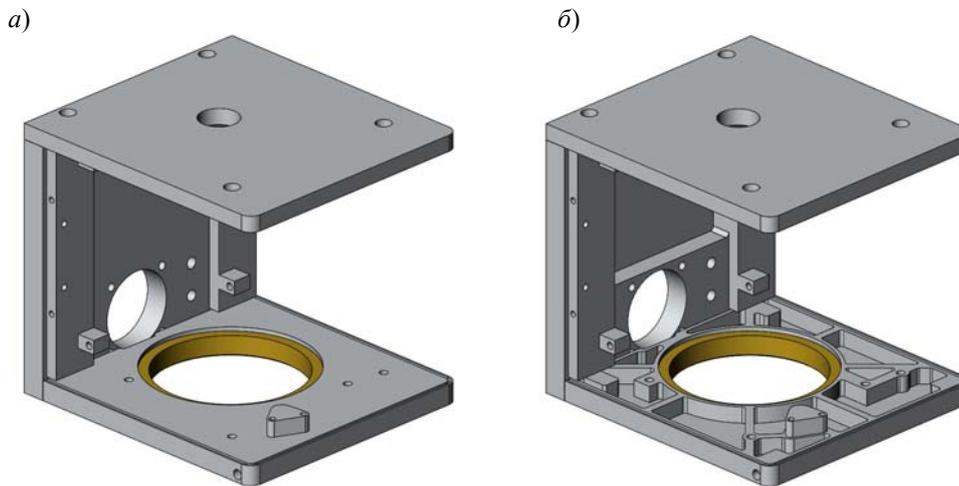


Рис. 1

Результатом изменения конструкции всех стенок лазерной головки стало снижение общего веса корпуса и уменьшение числа деталей. Оптимизация топологии деталей корпуса ЛГ проводилась в САЕ-модуле SolidWorks Simulation Professional [1]. Оптимизационная модель и метод оптимизации определяются внутренними алгоритмами САЕ-модуля. С учетом терминов, принятых в данном САЕ-модуле, оптимизация топологии деталей заключается в снижении их массы при обеспечении или сохранении необходимого запаса прочности. При этом исследовалась деформация деталей корпуса стационарно установленной в шпинделе обрабатывающего центра ЛГ под действием силы тяжести от ее собственного веса.

Кардинальным изменениям топологии была подвергнута задняя стенка для объединения нескольких элементов. Таким образом, радиаторы из общей конструкции перешли на стенку и стали с ней единым элементом (рис. 2), а за счет дополнительного кармана удалось

снизить вес элемента на 16 %. Также стоит отметить, что наличие ребер охлаждения снижает общий вес детали на 24 %.

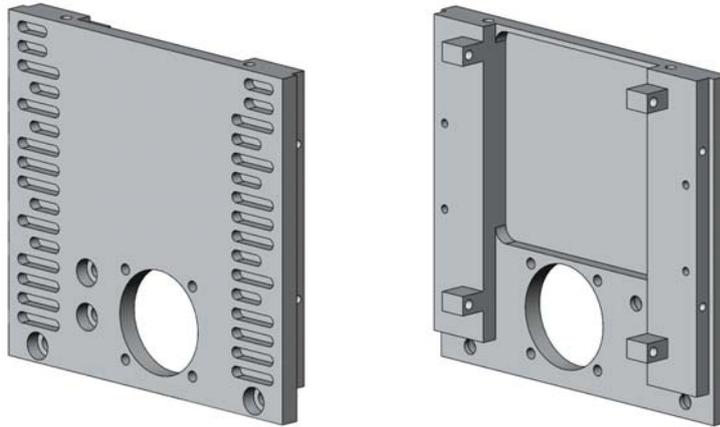


Рис. 2

Объединение нескольких элементов обеспечило также большую жесткость конструкции задней стенки.

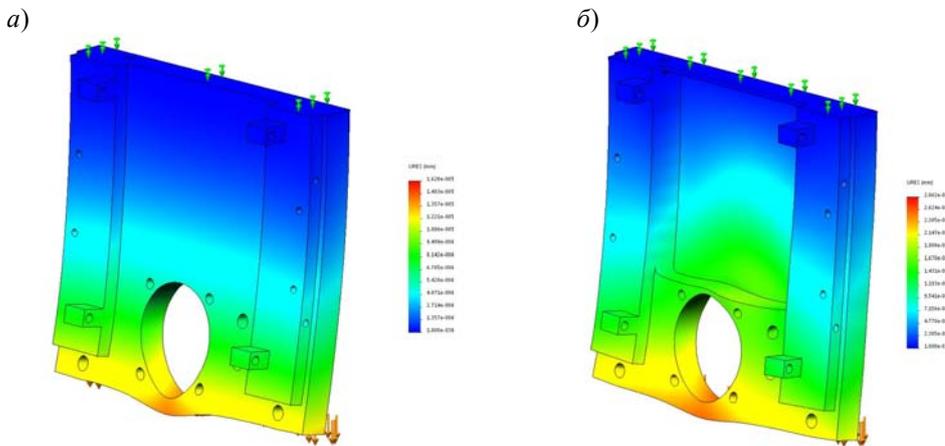


Рис. 3

Анализ показал, что прочностные характеристики задней стенки не изменились как в сборке, так и отдельно (рис. 3, *а* — исходная конструкция, *б* — измененная). Задняя стенка в сборке держит на себе коллиматор и нижнюю стенку. Нижняя стенка корпуса лишилась значительного количества материала, общий объем которого составил 48,5 %. Этот элемент конструкции потребовал большого внимания при оптимизации топологии, так как он является несущим для всей оптической схемы (рис. 4, *а* — исходная конструкция, *б* — измененная). Необходимо было расположить ребра жесткости так, чтобы они, с одной стороны, объединялись между собой, а с другой — включали элементы оптической схемы, создавая единый каркас. Такой подход позволил избежать деформаций не только нижней стенки, но и всей ЛГ.

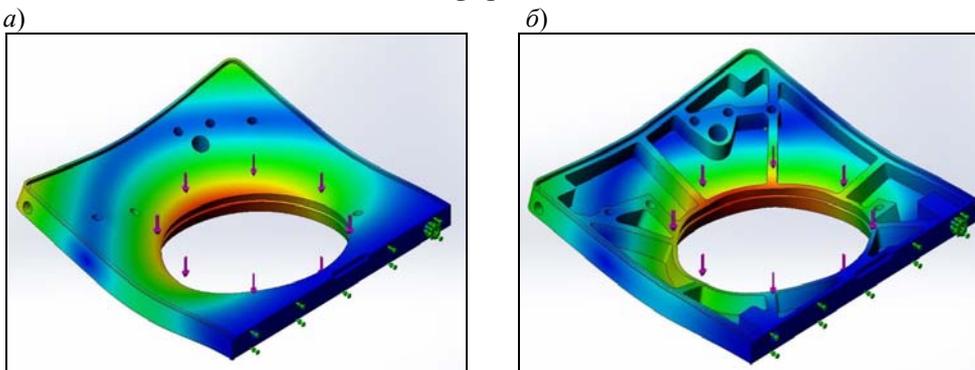


Рис. 4

Наибольшим конструктивным изменениям был подвергнут коллиматор. Изначально этот элемент выполнял функцию фиксирования не только оптического волокна внутри корпуса ЛГ, но и всей лазерной головки. Однако в связи с предлагаемым способом установки в шпиндель обрабатывающего центра функция фиксирования ЛГ переходит от коллиматора к инструментальному конусу, закрепляемому на верхней стенке корпуса. С учетом этого для оперативной работы с лазерной системой и обеспечения большей жесткости сцепления коллиматора и ЛГ разработана принципиально отличающаяся система быстросъемного крепления типа байонет. Подобный принцип работы используется в профессиональной фототехнике для примыкания фотообъектива к фотоаппарату. Такая система позволит без вспомогательного инструмента обеспечить быстрое сопряжение и размыкание коллиматора с ЛГ и сохранить соосность лазерной оптической схемы. Также в месте фиксации коллиматора с корпусом ЛГ размещаются две группы с электрическими контактными площадками, что позволяет убрать из его общей конструкции разъемы и штекеры. Предлагаемая система включает предохранительную механическую кнопку, которая не позволит совершить произвольное разъединение коллиматора и ЛГ без ее полного нажатия. Коллиматор модифицирован таким образом, чтобы сохранилась функция фиксации оптического волокна внутри него. При этом убрана функция фиксации коллиматора на станине, так как новый корпус ЛГ предназначен для ее установки в шпиндель станка с ЧПУ. Изменение конструкции коллиматора привело к снижению его массы на 46 %. На рис. 5 представлен пример исходного варианта крепления коллиматора к задней стенке (а) в сравнении с измененным (б).

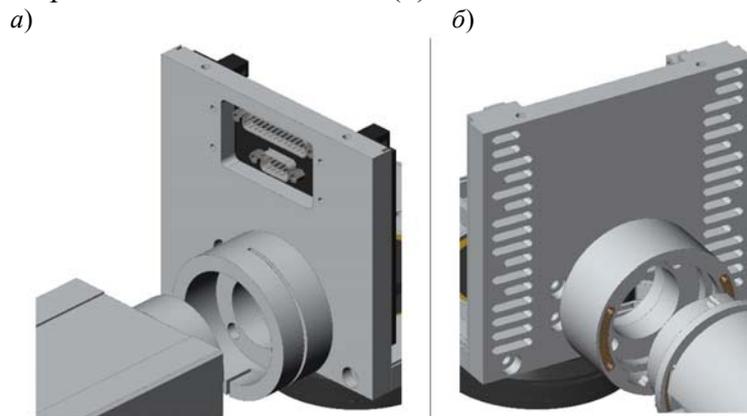


Рис. 5

Результаты инженерного анализа показали, что новая конструкция корпуса ЛГ сохраняет жесткость, близкую к исходной, но меньшая масса корпуса повышает удобство работы с лазерной системой.

Изменения в топологии стенок корпуса, а также конструкции коллиматора и способе его крепления к корпусу ЛГ облегчают оператору установку корпуса в станок с ЧПУ и ее снятие.

Исходная конструкция корпуса ЛГ не позволяла проводить ручную установку в шпиндель обрабатывающего центра, т.е. использовать ее в составе этого станка из-за отсутствия необходимого крепления, а также неразъемного соединения коллиматора с корпусом.

В дальнейшем необходимо провести комплекс климатических и вибрационных испытаний измененной конструкции корпуса ЛГ в САЕ-системах.

Заключение. Таким образом, предложен способ установки лазерной системы в существующий обрабатывающий центр за счет модернизации конструкции корпуса лазерной головки путем введения в его состав инструментального конуса (лазерная головка устанавливается в шпиндель станка), а также изменения конструкции нижней, задней и верхней стенок корпуса и крепления коллиматора с целью облегчения процесса установки.

Установка лазерной системы в обрабатывающий центр расширяет спектр работ, позволяя формировать одноэтапные автоматические процессы, объединяющие два типа обработки (механическую и лазерную), тем самым возрастают функциональные возможности станка с ЧПУ. При этом на станках с ЧПУ нормальной точности за счет лазерной обрабатывающей системы возможно проводить лазерную обработку отдельных участков поверхностей размером до 30—50 мкм. Такая высокая разрешающая способность позволит с чрезвычайно высокой плотностью наносить данные в виде QR-кодов на изделия, что, в свою очередь, обеспечит размещение большего количества информации об изделии на малой площади. Достигнутое сокращение оборудования на производстве приведет к снижению расходов на электроэнергию и обслуживание, сокращению временных и финансовых затрат на изготовление изделий. Такой подход позволит маркетологам привлечь внимание не только отечественных, но и зарубежных заказчиков.

Авторы выражают благодарность компании ООО „Лазерный центр“ за предоставленные консультации и дополнительную информацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kurowski P. M.* Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2018. Schroff Development Corporation, 2018. 596 p.
2. *Zeng Jie Ma, Yigang Wang, Yukun Li.* Processing of Three-Dimensional Models for the Crystal Laser Engraving // *Nicograph International.* 2016. DOI: 10.1109/NicoInt.2016.21.
3. *Петкова А. П., Ганзуленко О. Ю.* Технологические аспекты маркировки изделий машиностроения прецизионным импульсным лазером // *Современное машиностроение. Наука и образование.* 2014. № 4. С. 1177—1187.
4. *Vasilev O. S., Ruzankina J. S.* Laser forming micro geometric structures on the surface of roller rolling mill // *Journal of Physics. Conf. Ser.* 2016. Vol. 735, N 1. P. 1—5.
5. *Vasilev O. S., Veiko V. P., Gorniy S. G., Ruzankina J. S.* Laser device for microstructuring a metal surface using a fiber laser // *Optical Journal.* 2015. Vol. 82, N 12. P. 70—77.
6. *Andreev A. O., Kosenko M. S., Petrovskiy V. N., Mironov V. D.* Prototyping of Dental Structures Using Laser Milling // *Journal of Physics. Conf. Ser.* 2016. Vol. 691, N 1. P. 012007.
7. *Przestacki D., Jankowiak M.* Surface roughness analysis after laser assisted machining of hard to cut materials // *Journal of Physics. Conf. Ser.* 2014. Vol. 483, N 1. P. 012019.
8. *Nasedkin Yu. V., Khmel'nitskiy A. K.* Laser cutting of carbon fiber-reinforced plastic thin sheets // *Journal of Physics. Conf. Ser.* 2018. Vol. 1109, N 1. P. 012041.
9. *Larin M. V., Pevzner Y. B., Grinin O. I., Lasota I. T.* The use of single-mode fiber laser for welding of stainless steel thin thickness // *Journal of Physics. Conf. Ser.* 2018. Vol. 1109, N 1. P. 012036.
10. *Васильев О. С., Горный С. Г.* Технология создания поверхностных микроструктур на листовых материалах с использованием волоконного лазера // *Металлообработка.* 2016. Т. 93, № 3. С. 20—25.
11. *Mohd Noor Firdaus Bin Haron, Fadlur Rahman Bin Mohd Romlay.* Parametric study of laser engraving process of AISI 304 Stainless Steel by utilizing fiber laser system // *IOP Conf. Ser. Materials Science and Engineering.* 2019. Vol. 469, N 1. P. 012124.
12. *Maksarov V. V., Khalimonenko A. D.* Quality assurance during milling of precision elements of machines components with ceramic cutting tools // *International Review of Mechanical Engineering.* 2018. Vol. 5, N 12. P. 437—441.
13. *Maksarov V. V., Khalimonenko A. D.* Forecasting performance of ceramic cutting tool // *Key Engineering Materials.* 2017. Vol. 736, N 1. P. 86—90.
14. *Nikolaev A. D., Pyae P. A., Pompeev K. P., Vasilev O. S.* Laser processing systems in machines with numerical control // *IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science.* 2019. Vol. 378, N 1. P. 012066.

15. Николаев А. Д., Пьяе П. А., Помпеев К. П., Васильев О. С., Горный С. Г. Внедрение систем лазерной обработки в состав многооперационных обрабатывающих центров // *Металлообработка*. 2019. № 5. С. 26—33.

Сведения об авторах

- Алексей Дмитриевич Николаев** — аспирант; Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; E-mail: senatorfirst1@gmail.com
- Кирилл Павлович Помпеев** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; факультет систем управления и робототехники; E-mail: kir-pom@mail.ru

Поступила в редакцию
28.12.2020 г.

Ссылка для цитирования: Николаев А. Д., Помпеев К. П. Совершенствование лазерной головки за счет изменения топологии деталей ее корпуса и способа крепления коллиматора // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2021. Т. 64, № 4. С. 300—306.

IMPROVEMENT OF A LASER HEAD BY CHANGING THE TOPOLOGY OF ITS BODY PARTS AND THE COLLIMATOR MOUNTING METHOD

A. D. Nikolaev, K. P. Pompeev

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: senatorfirst1@gmail.com

A method is proposed for expanding the technological capabilities of numerically controlled machine by integrating a fiber laser system into the tool composition. To lighten the parts of the laser head body while maintaining their rigidity parameters, the body is modified, some structural elements are combined, and all the body walls are made lighter and more functional. Due to the proposed design, the laser head is easy to use while maintaining the construction rigidity. The new body of the laser head expands the list of works for numerically controlled machines, which makes it possible to reduce the production time not only of a single part, but also for the final product. This approach reduces the cost of maintaining and servicing equipment by integrating it into numerically controlled machines. Marking and manufacturing of parts on one machine allows not only to automate the processes of further assembly of the final product using QR codes, but also to increase the accuracy of marking and engraving on the product due to a one-stage process.

Keywords: metalworking, CNC machine, machining center, implementation, laser processing, fiber laser

REFERENCES

1. Kurowski P.M. *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2018*, Schroff Development Corporation, 2018, 596 p.
2. Zeng Jie Ma, Yigang Wang, Yukun Li. *Nicograph International*. 2016. DOI: 10.1109/NicoInt.2016.21.
3. Petkova A.P., Ganzulenko O.Yu. *Sovremennoye mashinostroyeniye. Nauka i obrazovaniye*, 2014, no. 4, pp. 1177–1187. (in Russ.)
4. Vasiliev O.S., Ruzankina J.S. *Journal of Physics, Conference Series*, 2016, no. 1(735), pp. 1–5.
5. Vasiliev O.S., Veiko V.P., Gorny S.G., Ruzankina J.S. *Optical Journal*, 2015, no. 12(82), pp. 70–77.
6. Andreev A.O., Kosenko M.S., Petrovskiy V.N., Mironov V.D. *Journal of Physics, Conference Series*, 2016, no. 1(691), pp. 012007.
7. Przestacki D., Jankowiak M. *Journal of Physics, Conference Series*, 2014, no. 1(483), pp. 012019.
8. Nasedkin Yu.V., Khmel'nitsky A.K. *Journal of Physics, Conference Series*, 2018, no. 1(1109), pp. 012041.
9. Larin M.V., Pevzner Y.B., Grinin O.I., Lasota I.T. *Journal of Physics, Conference Series*, 2018, no. 1(1109), pp. 012036.
10. Vasiliev O.S., Gorny S.G. *Metalloobrabotka*, 2016, no. 3(93), pp. 20–25.
11. Mohd Noor Firdaus Bin Haron, Fadlur Rahman Bin Mohd Romlay. *IOP Conference Series, Materials Science and Engineering*, 2019, no. 1(469), pp. 012124.
12. Maksarov V.V., Khalimonenko A.D. *International Review of Mechanical Engineering*, 2018, no. 12(5), pp. 437–441.
13. Maksarov V.V., Khalimonenko A.D. *Key Engineering Materials*, 2017, no. 1(736), pp. 86–90.
14. Nikolaev A.D., Pyae P.A., Pompeev K.P., Vasiliev O.S. *IOP Conf. Series, Earth and Environmental Science*, 2019, no. 1(378), pp. 012066.
15. Nikolaev A.D., Pyae P.A., Pompeev K.P., Vasiliev O.S., Gorny S.G. *Metalloobrabotka*, 2019, no. 5, pp. 26–33. (in Russ.)

Data on authors

- Aleksey D. Nikolaev** — Post-Graduate Student; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; E-mail: senatorfirst1@gmail.com
- Kirill P. Pompeev** — PhD, Associate Professor; ITMO University, Faculty of Control Systems and Robotics; E-mail: kir-pom@mail.ru

For citation: Nikolaev A. D., Pompeev K. P. Improvement of a laser head by changing the topology of its body parts and the collimator mounting method. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 4. P. 300—306 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-4-300-306