

Импортозамещающие технологии производства расходных элементов гидроструйного оборудования, применяемого для обработки материалов ракетно-космической техники

© М.И. Абашин¹, А.М. Герасимова¹, А.А. Вдовин²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

²ООО «Евровол», Москва, 125080, Россия

Рассмотрена перспектива производства высоконаучоемкого технического устройства — фокусирующей трубки, используемой в установках для гидроабразивной резки различных материалов. В сложившейся экономической ситуации вопросы импортозамещения имеют важное государственное значение. Для анализа возможностей разработки соответствующего технологического процесса построена серия имитационных математических моделей, раскрывающих физическую сущность происходящих процессов движения суспензии и износа внутреннего канала фокусирующей трубки. Установлены зависимости между концентрацией абразива и износом внутренней поверхности фокусирующей трубки, а также влияние на износ размера абразивных зерен и их физико-механических характеристик. Сделаны выводы о процессах, происходящих при движении абразивной суспензии через фокусирующую трубку. Результаты исследований сопоставлены с данными, полученными в других научно-исследовательских работах.

Ключевые слова: импортозамещение, фокусирующая трубка, гидроабразивная резка, абразив, численное моделирование.

Перед учеными, занимающимися вопросами оптимизации ультраструйных технологий, стоит ряд задач, среди которых импортозамещение расходных материалов, выбор рациональных режимов гидроабразивного резания (ГАР), материалов для использования в гидрооборудовании и др. [1].

Так, в частности, проведенный анализ показал, что затратными и технологически важными расходными элементами установок для ГАР являются фокусирующая трубка и гидросопло. В настоящее время используют сопла импортного производства, они не имеют отечественных аналогов. Актуализация вопросов импортозамещения выводит тему создания отечественных аналогов данных расходных материалов на передний план.

Основным материалом для гидросопел являются искусственные сапфиры и рубины. С учетом имеющегося опыта в обработке и диагностике качества искусственных алмазов, а также в производстве фильер была предпринята попытка изготовления гидросопел из поликристаллического алмаза. Эксплуатация в тестовом режиме полученного экспериментального образца на установке для ГАР показала свою эффективность.

Кроме того, ведется поиск решения ряда научных задач, которые будут способствовать повышению эффективности ГАР, снижению себестоимости обслуживания, продлению сроков службы расходных элементов гидрооборудования.

Прежде всего, это задача численного моделирования течения ультраструи жидкости через гидросопло с целью оптимизировать геометрические параметры гидросопла по критерию обеспечения максимальной скорости движения струи на его срезе. Другая задача заключается в адаптации разработанной на кафедре «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана методики ультраструйной диагностики для оценки качества и эксплуатационных характеристик материалов гидросопел. Решение этих задач позволит создать технологический цикл производства и контроля качества гидросопел с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Задача, которую частично уже удалось решить, — это определение максимальной производительности ГАР в зависимости от концентрации и размеров абразивных частиц [2–4]. Однако имеющиеся решения требуют проведения серьезных экспериментальных исследований, при этом существующие методики весьма затратны и трудоемки. Разработка адекватных математических моделей позволит упростить процедуру выбора различных марок абразива при гидроабразивной резке материалов, а также определить рациональную концентрацию абразива — один из основных технологических параметров обработки. В настоящее время дозирование абразивного материала устанавливается в соответствии с методическими рекомендациями производителей гидротехнологического оборудования. Однако перечень разрезаемых материалов, содержащихся в информационно-методических базах данных, в достаточной степени ограничен. Кроме того, в качестве абразива рассматривается только типовой гранатовый концентрат одной зернистости.

Выбор рациональных режимов резания, оптимизация расхода гранатового концентрата являются актуальными для технологии ГАР материалов [3]. Все имеющиеся данные, касающиеся абразивного расходного материала, в большинстве случаев опираются на результаты эмпирических исследований. До сих пор отсутствуют конечно-элементные модели процесса гидроабразивной обработки материалов, что ограничивает возможности теоретического анализа указанного процесса. В связи с этим была предпринята попытка выполнить численное моделирование процесса ГАР для различных размеров абразива и его концентраций в гидроструе.

Целью исследования является оптимизация процесса ГАР по основному критерию — производительности обработки. Необходимо обеспечить такие режимы формообразования, при которых суммарные

затраты времени на обработку материала и ее обеспечение, приведенные к единице массы (объема) удаленного с заготовки обрабатываемого материала, были бы минимальны. Другими словами, требуется обеспечить максимальную удельную производительность процесса ГАР.

Зависимость производительности ГАР от концентрации (массовой или объемной) абразива, вводимого путем эжекции в фокусирующую трубку, имеет оптимум, что обусловлено особенностями протекания процесса обработки. Следует отметить, что в практике гидроабразивной обработки под массовой концентрацией c понимают отношение массовых расходов абразива \dot{m}_a и воды $\dot{m}_в$:

$$c = \dot{m}_a / \dot{m}_в.$$

Исследование процесса ГАР проведено на базе численных методов механики сплошной среды с использованием современного программного комплекса ANSYS AUTODYN.

Основная задача моделирования заключалась в составлении замкнутой системы уравнений, которая описывает движение и состояние сплошной среды с учетом ее физико-механических свойств, внешних силовых факторов и позволяет найти все функции, определяющие ее движение и состояние в зависимости от координат и времени.

На первом этапе моделирования исследовано влияние размера абразивных частиц на размер получаемого отверстия в результате процесса ГАР. Моделирование осуществлялось для абразивных частиц радиусом $R_a = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ мм. Были получены непротиворечивые данные: увеличение размера абразивных частиц влияет на размер прорезаемого отверстия. Так, при $R_a = 0,2$ мм радиус отверстия R_o составляет 1,0 мм, а при $R_a = 0,5$ мм он увеличивается до 1,6 мм.

В результате моделирования установлено:

- рациональный размер абразивных зерен находится в диапазоне $R_a = 0,3...0,4$ мм, в этом случае производительность ГАР является наибольшей;
- наиболее высокое качество внутренней поверхности полученного отверстия достигается при $R_a = 0,3$ мм.

На втором этапе моделирования исследовалось влияние концентрации абразива в гидроструе на размер получаемого отверстия и скорость ГАР. Концентрация абразива задавалась как расстояние между соседними движущимися частицами, что не противоречит объективной картине ГАР, описанной в ряде работ [5–7]. Данные исследования в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре СМ-12 проводятся под научным руководством профессора В.И. Колпакова.

Для моделирования были выбраны три варианта: расстояние между абразивными частицами в направлении движения струи $Z_a = 0,1; 0,5; 1,0$ мм.

Установлено, что с увеличением расстояния Z_a от 0,1 до 1,0 мм ширина реза увеличивается с 1,15 до 1,25 мм.

На основе проведенных расчетов получены следующие результаты:

1) при $Z_a = 0,1$ мм происходит частичное забивание получаемого отверстия абразивом, т. е. в гидроабразивной струе имеется избыток абразива;

2) при $Z_a = 0,5$ мм происходит гидроабразивная резка, что свидетельствует об оптимальной концентрации абразива в гидроабразивной струе;

3) при $Z_a = 1,0$ мм происходит в основном гидрорезка, т. е. абразива в гидроабразивной струе недостаточно.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Методами численного моделирования можно оценить взаимосвязь входных и выходных технологических параметров. Затем необходимо провести уточняющие экспериментальные исследования, что позволит использовать в дальнейшем разработанные модели при выполнении расчетов для других материалов образцов и абразива с высокой степенью достоверности результатов. Кроме того, возможна адаптация моделей для рассмотрения задач движения абразива по каналу соплового насадка, что позволит оптимизировать размеры и форму внутреннего канала сопла, уменьшая время прирабатывания и продлевая его срок службы [8]. Для создания сопел сложной конфигурации может быть полезным применение аддитивных технологий.

Перспективой проведения исследований является выбор оптимальной конфигурации гидросопел и подбор материалов, из которых их следует изготавливать, используя имеющиеся отечественные технологии компании «Евровол» и опыт производства волок для протягивания проволоки [9].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тарасов В.А., Галиновский А.Л. Проблемы и перспективы развития гидроструйных технологий ракетно-космического машиностроения. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, № 3 (15). DOI: 10.18698/2308-6033-2013-3-636
- [2] Барсуков Г.В., Михеев А.В. Определение производительности гидроабразивного резания с учетом характеристик абразивного зерна. *Справочник. Инженерный журнал*, 2008, № 1, с. 9–15.
- [3] Барсуков Г.В., Александров А.А. Определение компонентного состава масс абразивной смеси для резания материалов сверхзвуковой гидроабразивной струей. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2012, № 2–3, с. 74.
- [4] Барсуков Г.В., Степанов Ю.С., Михеев А.В. Моделирование числа абразивных зерен, участвующих в процессе формирования поверхности детали

при резании сверхзвуковой гидроабразивной струей. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*, 2009, с. 15–19.

- [5] Барзов А.А., Галиновский А.Л., Абашин М.И. Факторная модель ультразвуковой гидроэрозии. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2012, № 10, с. 63–68.
- [6] Барзов А.А., Галиновский А.Л., Хафизов М.В., Колпаков В.И. Повышение производительности гидроабразивной резки материалов путем выбора рациональных режимов обработки методом акустической эмиссии. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2016, № 1 (670), с. 71–77.
- [7] Казакова О.И., Колпаков В.И. Численное моделирование гидроабразивной резки листовых заготовок из алюминиевых сплавов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2012, № 7, с. 56–60.
- [8] Герасимова А.М., Галиновский А.Л., Колпаков В.И. Анализ взаимодействия гидроабразивной струи с внутренней поверхностью канала фокусирующего сопла. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015, № 9 (666), с. 59–67.
- [9] Битков В.В. Эффективность применения сборных волок для волочения проволоки. *Технология металлов*, 2015, № 9, с. 14–20.

Статья поступила в редакцию 08.07.2016

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Абашин М.И., Герасимова А.М., Вдовин А.А. Импортозамещающие технологии производства расходных элементов гидроструйного оборудования, применяемого для обработки материалов ракетно-космической техники. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 9.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-09-1529>

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XL Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 26–29 января 2016 г.

Абашин Михаил Иванович родился в 1988 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2011 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 50 публикаций. Область научных интересов: диагностика материалов, технологии специального машиностроения. e-mail: abashin@bmstu.ru

Герасимова Анастасия Михайловна родилась в 1990 г., окончила МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2013 г. Аспирантка кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 3 публикаций. Область научных интересов — моделирование быстротекущих процессов. e-mail: blakdragonn@rambler.ru

Вдовин Анатолий Александрович родился в 1954 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1976 г. Канд. техн. наук, доцент, генеральный директор ООО «Евровол». Автор более 10 публикаций. Область научных интересов: производство изделий из сверхтвердых материалов. e-mail: voloki@mail.ru

Import-substituting technology of hydra jetting equipment consumable items production used for processing RST materials

© M.I. Abashin¹, A.V. Gerasimova¹, A.A. Vdovin²

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

²Evrovol Limited liability Company, Moscow, 124681, Russia

The article deals with the prospect of producing a high-tech device — the focusing tube used in systems for waterjet cutting of various materials. In the current economic situation, import substitution issues have national importance. To analyze the possibilities of developing the appropriate technological process, we constructed a series of mathematical simulation models; the analysis reveals the suspension motion processes and their physical essence and focusing tube internal channel wearing out processes. We established dependencies between the abrasive concentration and the focusing tube inner surface wearing out, as well as evaluated the abrasive grains magnitude impact on the wearing out and their physical and mechanical properties. In the study we draw the conclusions about the processes occurring during the abrasive slurry motion through a focusing nozzle. We compare our research results with those obtained in other research projects.

Keywords: import substitution, focusing tube, waterjet cutting, abrasive, numerical modeling.

REFERENCES

- [1] Tarasov V.A., Galinovskiy A.L. *Inzhenerny zhurnal: nauka ii nnovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2013, no. 3 (15). DOI: 10.18698/2308-6033-2013-3-636
- [2] Barsukov G.V., Mikheev A.V. *Spravochnik. Inzhenerny zhurnal — Handbook. An Engineering Journal*, 2008, no. 1, pp. 9–15.
- [3] Barsukov G.V., Aleksandrov A.A. *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii — Fundamental and Applied Problems of Technics and Technology*, 2012, no. 2–3, pp. 74.
- [4] Barsukov G.V., Stepanov Yu.S., Mikheev A.V. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova — Bulletin of BSTU named after Shukhov*, 2009, pp. 15–19.
- [5] Barzov A.A., Galinovskiy A.L., Abashin M.I. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2012, no. 10, pp. 63–68.
- [6] Barzov A.A., Galinovskiy A.L., Khafizov M.V., Kolpakov V.I. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2016, no. 1, pp. 71–77.
- [7] Kazakova O.I., Kolpakov V.I. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2012, no. 7, pp. 56–60.
- [8] Gerasimova A.M., Galinovskiy A.L., Kolpakov V.I. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2015, no. 9, pp. 59–67.
- [9] Bitkov V.V. *Tekhnologiya metallov — Tekhnologiya Metallov*, 2015, no. 9, pp. 14–20.

Abashin M.I. (b. 1988) graduated from Bauman Moscow State Technical University in 2011. Cand. Sci. (Eng.), Department of Technology of Rocket and Space Engineering, BMSTU. Author of more than 50 papers. Research interests include materials diagnostics, technology of special engineering. e-mail: abashin@bmstu.ru

Gerasimova A.M. (b. 1990) graduated from Bauman Moscow State Technical University in 2013. A post-graduate student, Department of Technology of Rocket and Space Engineering, BMSTU. Author of 3 papers Research interests include modelling of rapid processes. e-mail: blakdragonn@rambler.ru

Vdovin A.A. (b. 1954) graduated from Bauman Moscow Higher Technical School in 1976. Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor, Director General of Evrovol Limited liability Company. Author of more than 10 papers. Research interests include production of articles made from superhard materials. e-mail: voloki@mail.ru