

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРФОРАЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ ПЛЕНОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Коннов И.А., Ефремов Д.В., Беляева М.В., Некрасов В.И.
ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара

Ключевые слова: секция сопловых лопаток, профилированные отверстия перфорации, пленочное охлаждение, электроэррозионная обработка, оснастка, профилированный электрод.

Разработка перспективной конструкции секции сопловых лопаток турбины высокого давления (ТВД) авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) нового поколения требует принципиально новых подходов к организации эффективной системы пленочного охлаждения трактовых поверхностей лопаток, позволяющих обеспечить приемлемое тепловое состояние секции при минимальных затратах охлаждающего воздуха, тем самым обеспечить дополнительное улучшение удельных параметров двигателя.

На современных высокотемпературных турбинах иностранных двигателей (GP7000, CFM-56-7B, M701G, M701J и др.) для интенсификации пленочного охлаждения трактовых поверхностей одиночных сопловых лопаток используются зарекомендовавшие себя профилированные “веерные” отверстия (рис. 1) перфорации. Существует достаточно число расчетных и экспериментальных работ (к примеру, [1-5]), в которых показано, что использование таких отверстий позволяет существенно повысить эффективность пленочного охлаждения.

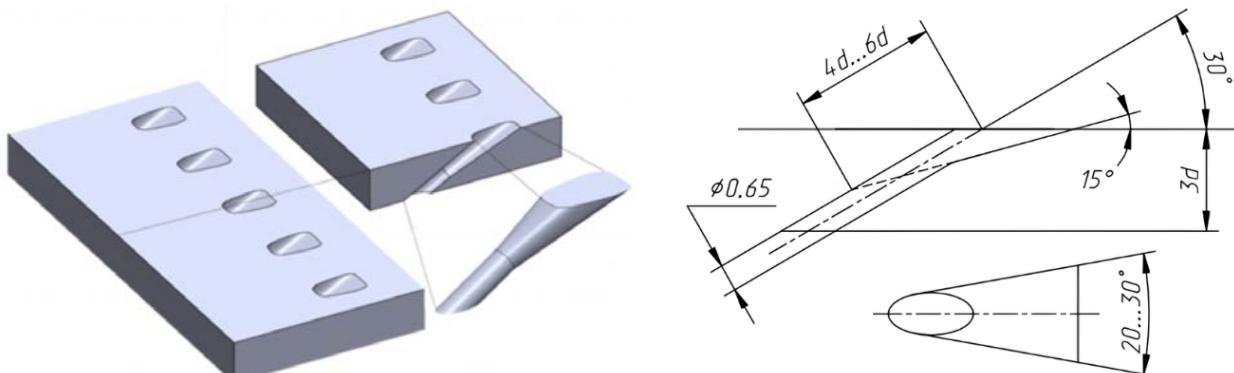


Рис. 1 – Общий вид “веерных” отверстий перфорации

В отличие от зарубежных двигателестроительных фирм, отечественная отрасль не имеет практического опыта внедрения профилированных отверстий перфорации в конструкции одиночных сопловых лопаток как серийных, так и опытных двигателей. Кроме того, полностью отсутствуют данные по применению перспективного способа интенсификации пленочного охлаждения для секций сопловых лопаток, что существенно ограничивает возможности обеспечения приемлемого теплового состояния секции в условиях экстремальных тепловых нагрузок при минимальных затратах охлаждающего воздуха.

Отставание в области критических технологий теплозащиты деталей горячей части ограничивает эффективность отечественных двигателей, увеличивает их массу и снижает ресурс, делая продукцию менее конкурентоспособной на фоне зарубежных аналогов с лучшими удельными параметрами.

В рамках работы была поставлена задача освоения технологии получения “веерных” отверстий перфорации на секциях сопловых лопаток ТВД перспективного двигателя.

В зарубежной практике известен метод получения профилированных отверстий на одиночных сопловых лопатках с помощью электроэррозионного фрезерования (рис. 2) [6, 7]. Обработка каждого отверстия в данном методе производится отдельно длинным полым вращающимся цилиндрическим электродом типа «супердрель» (HSD).

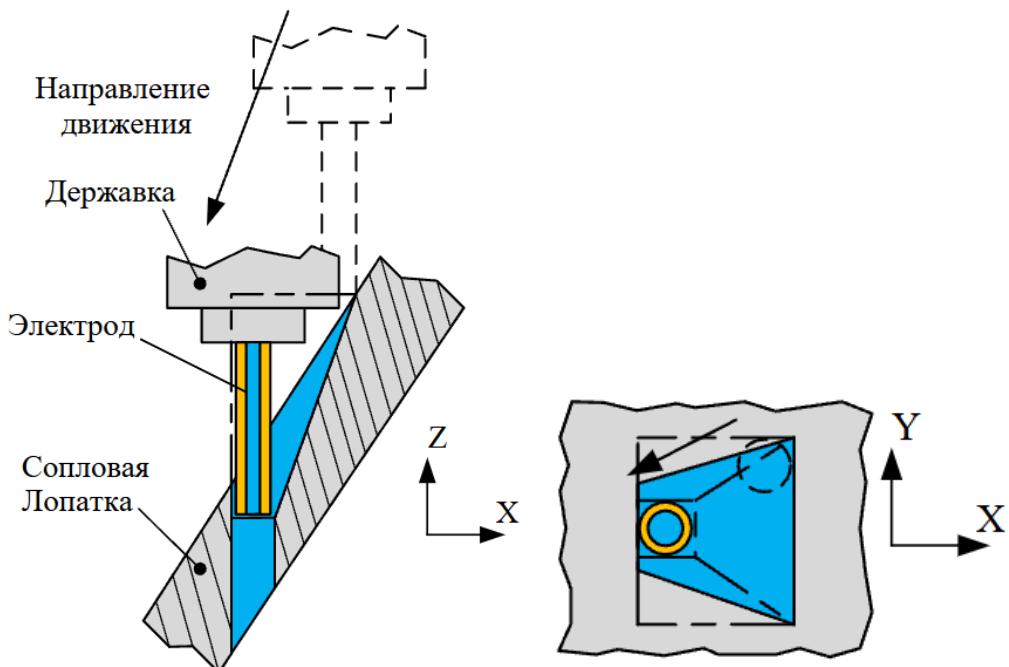


Рис. 2 – Схема обработки “веерного” отверстия перфорации

Данный способ обработки отверстий хоть и не требует большого количества оснастки и установочного времени, но он имеет и существенный недостаток – большое количество машинного времени обработки отверстий. Так, на обработку 524 отверстий перфораций уходит 24 часа работы «супердрели». Помимо этого, данный способ обработки невозможен к применению для секций сопловых лопаток ввиду наличия закрытых участков профиля, исключающих возможность подвода длинного электрода со стороны выходной кромки лопатки.

Наиболее интересным и практически реализуемым способом получения “веерных” отверстий перфораций является традиционная обработка отверстий на копировально-прошививных станках (4Г721, TSH-600, SX-200 и др.) с помощью набора профилированных электродов гребенчатого типа. Несмотря на длительность установки детали и сменных гребенок и большой номенклатуры специальной оснастки, данный способ обработки позволяет производить одновременную обработку нескольких рядов отверстий перфорации. Помимо этого, в данном способе возможно реализовать одновременную прошивку рядов отверстий на нескольких заготовках путем установки на вертикальном суппорте или шпинделе станка нескольких гребенок, что является основным достоинством данного способа в случае изготовления серийных секций сопловых лопаток. Однако, особое внимание стоит уделить позиционированию наборной гребенки электродов с учетом реальных отклонений от номинального расположения поверхности профиля пера.

Учитывая вышеизложенное, для перспективной секции сопловых лопаток ТВД из жаропрочного сплава ЖС32-ВИ предложено получать профилированные (“веерные”) отверстия перфорации методом электроэррозионного прожига с использованием сменных профилированных электродов. На рис. 3 представлена разработанная конструкция профильного электрода и оснасток (гребенок) для получения “веерных” отверстий на спинке лопаток секций и приведено рабочее положение гребенок.

Профилированный электрод – составной. Цилиндрическая часть изготавливается из медной проволоки путем калибрования. Остальная часть электрода получается из прямоугольной медной заготовки путем электроэррозионной вырезки проволокой либо методом штамповки.

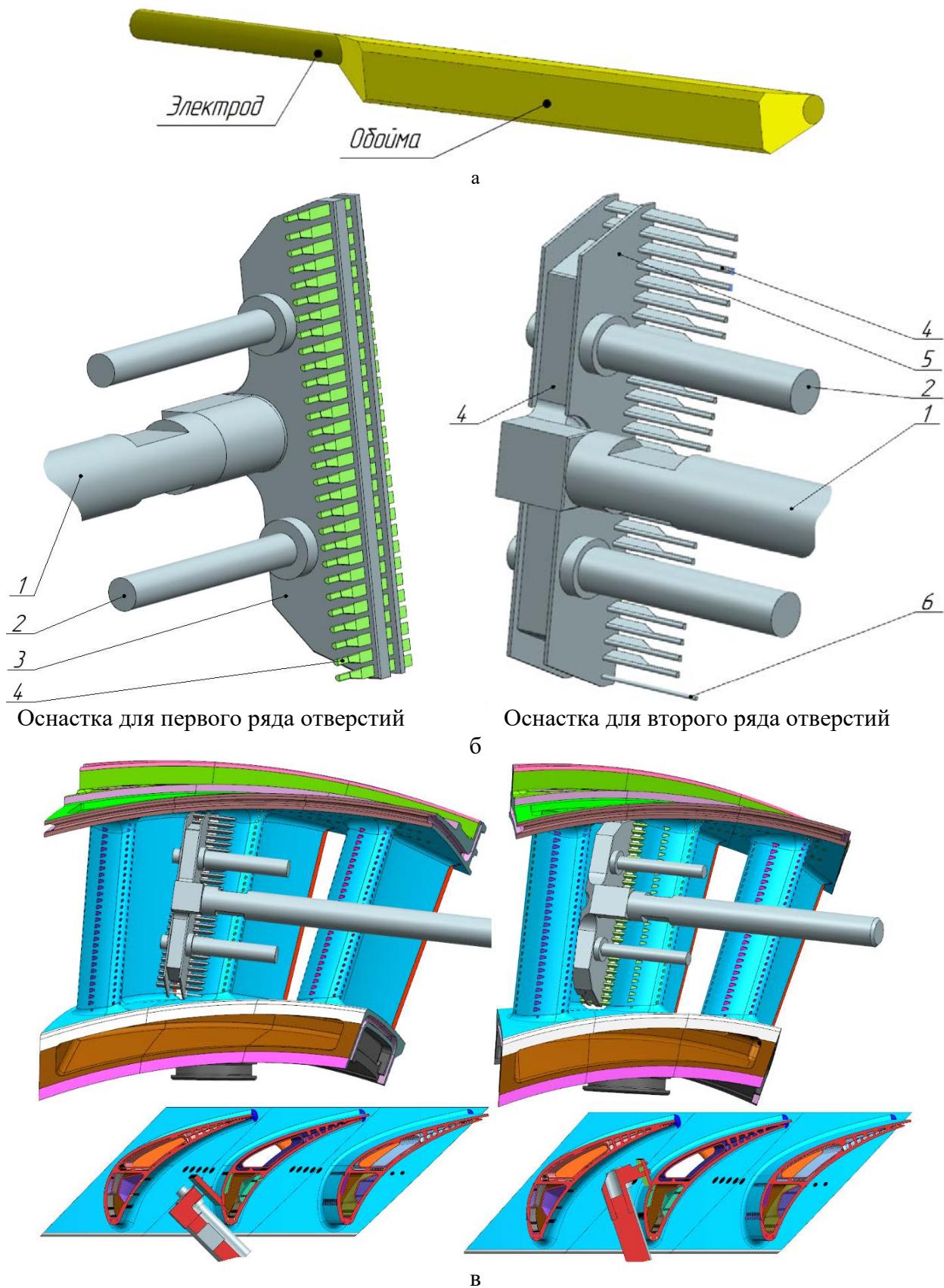


Рис. 3 – Предлагаемый способ получения “веерных” отверстий перфорации методом ЭЭО на спинках секций сопловых лопаток ТВД перспективного ТРДД:

а – конструктивный облик профилированного электрода;

1 – державка; 2 – штифт направляющий; 3 – корпус; 4 – электрод профилированный; 5 – пластина;
6 – электрод; в – рабочее положение инструмента

Обеспечение требуемой длины и углового положения составных электродов осуществляется в процессе сборки оснастки с помощью специального приспособления (рис.4). Оснастка без державки (см. рис.3) по направляющим штифтам устанавливается в приспособление, а составные электроды, упираясь в оправку приспособления, припаиваются к верхней части корпуса оснастки.

Далее к гребенке посредством резьбового соединения устанавливается державка, а сама гребенка монтируется на станке. Секция сопловых лопаток фиксируется на плите по механически обработанным поверхностям, а сама плита крепится к универсально-сборному приспособлению (УСП) поворотного типа. УСП с секцией размещается на станке под инструмент, а плита выставляется на определенный угол, при котором в процессе вертикального движения гребенки возможно получить требуемые отверстия перфорации на спинке лопаток. Далее производится обработка отверстий методом электроэрозионного прожига.

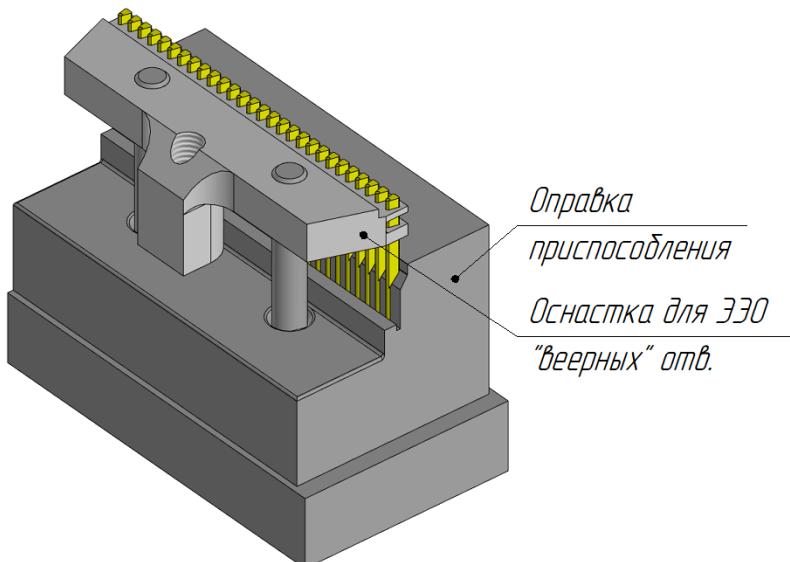


Рис. 4 – Приспособление для сборки профилированных электродов

Совместно с сотрудниками ПАО «ОДК-Кузнецов» запущены опытные работы по освоению технологии получения профилированных отверстий перфорации на секциях сопловых лопаток ТВД из жаропрочного сплава ЖС32-ВИ на предприятии. Предложен способ получения «веерных» отверстий на спинке лопаток секции, выпущена конструкторская и технологическая документация и изготовлена опытная оснастка для получения отверстий сложной формы методом электроэрозионной обработки. В дальнейшем ожидается получение опытных образцов секции с мероприятиями по улучшению пленочного охлаждения.

Список литературы

1. Takeishi Kenichiro, Krewinkel Robert «Advanced gas turbine cooling for the carbon-neutral era» Int. J. Turbomach. Propuls. Power 2023, 8 (3), 19.
2. А.С. Тихонов, Н.Ю. Самохвалов Анализ использования профилированных отверстий перфорации для повышения качества пленочного охлаждения спинки сопловых лопаток турбин // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т.16, №5 (50). – с. 20-27.
3. Bunker R.S. A Review of Shaped Hole Turbine Film-Cooling Techology [J]. Journal of Heat Transfer Transsections fo the Asme, 2005, 127(4): 441-453.
4. Bunker R.S. (2017) “Evolution of turbine cooling” Paper No. GT2017-63205, IGTI Turbo Expo, Charlotte, NC, USA.
5. Seokmin Kim, DongEun Lee, Young Seok Kang, Dong-Ho Rhee «Experimental Study on the Improvement of the Film Cooling Effectiveness of Various Modified Configurations Based on a Fan-Shaped Film Cooling Hole on a Flat Plate» Energies 2023, 16, 7752.
6. Wei Liang, Yong Li, Hao Tong, Quncum Kong «A Block Divided EDM Process for Diffuser Shaped Film Cooling Holes» Procedia CIPR 68 (2018) – p.415-419

M.Kliuev, K. Wegener Method of Machining Diffusors in Inconel 718 Turbine Blades for Film Cooling using EDM Drilling and Shaping Procedia CIPR 95 (2020) – p. 511-515.

METHODOLOGIE FOR MAKING COMPLEX SHAPED FILM COOLING HOLES

Konnov I.A., Efremov D.V., Belyaeva M.V., Nekrasov V.I.
JSC Kuznetsov, Samara, Russia, suprisecool@yandex.ru

Key words: nozzle blade section, shaped film cooling holes, electrical discharge machining, shaped electrode

The implementation of advanced nozzle blade sections necessitates novel approaches to designing highly efficient film cooling systems. The article presents a method for manufacturing shape-film cooling holes in the nozzle blade sections of the HPT for modern GTE.