

ва и цилиндра камеры с соплом, изготовленного из КМ, подтвердили работоспособность агрегата, созданного по инновационным принципам производства.

4. В целях дальнейшего успешного внедрения инновационных технологий на полноразмерные ЖРД необходимо проведение широкого спектра научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

УДК 536.24

К ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОТДАЧИ В ОХЛАЖДАЮЩИХ КАНАЛАХ ТУРБИНЫХ ЛОПАТОК

©2016 А.В. Ильинков, А.В. Щукин, И.И. Хабибуллин, В.В. Такмовцев

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева - КАИ

ON HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN COOLING CHANNELS OF TURBINE BLADES

Ilinkov A.V., Shchukin A.V., Khabibullin I.I., Takmvtsev V.V. (Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russian Federation)

New heat transfer intensifier submitted by the authors has been investigated. It differs from hemispherical dimple in that there is a stable vortex in each of its hollows. The intensity of the vortex is increased due to the diffuser shape of the dimple. Heat transfer from the surface with such dimples is 2.5...3 times more than from the surface with hemispherical dimples.

Повышение удельных параметров газотурбинных двигателей (ГТД) и энергетических установок требует перехода к более высоким температурам потока газа. Однако в этом случае требуется всё больше воздуха для охлаждения горячих деталей двигателя, и, особенно – турбины высокого давления (ТВД). Поскольку перепад полных давлений между охлаждающим воздухом и потоком горячего газа в ТВД невелик, то для эффективного функционирования системы охлаждения требуется использовать малоэнергетические интенсификаторы теплообмена.

Разработка и усовершенствование таких интенсификаторов в рамках пристенной интенсификации теплообмена позволяет сузить количество варьируемых параметров при поиске малоэнергетических теплообменных поверхностей.

В докладе анализируются результаты опытных исследований предложенной авторами схемы и конструкции эффективного пристенного интенсификатора теплообмена (Патент на изобретение RU № 2569540 С1). В силу увеличивающих теплоотдачу факторов интенсификатор, происходящий от сферической выемки отрывного типа, назван двухполостной диффузорной выемкой (ДДВ). Её отличие от сферической выемки

состоит, во-первых, в том, что в каждой из двух её полостей (рис. 1) генерируется непрерывно действующая устойчивая самоорганизующаяся вихревая структура. Во-вторых, эти структуры формируются в условиях диффузорного возвратного течения. В таких течениях возникает неустойчивость потока с возникновением в пристенной области микровихрей и микроотрывов. Всё это способствует повышению мощности крупномасштабных самоорганизующихся вихревых структур путём «поглощения» мелких вихрей.

Отметим, что по ходу возвратного течения полости ДДВ расширяются не только в плане (рис. 1), но и за счёт увеличения их глубины.

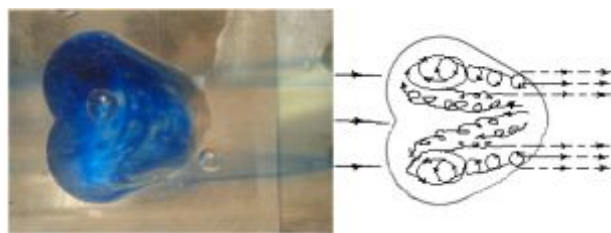


Рис. 1. Схема ДДВ в плане и осредненная по времени структура потока по результатам визуализации её оттекания

Визуализация течений в ДДВ показала, что эпицентры обеих вихревых структур смещены в направлении, противоположном основному потоку от геометрического центра окружностей, описывающих контур полостей со стороны входной кромки. Кроме этого, диаметр крупномасштабной вихревой структуры, образующейся в каждой из полостей ДДВ, значительно больше, чем в сферических выемках. Вихревая структура практически ометает боковые стенки полости. В плане крупномасштабные вихревые структуры выходят из выемки параллельно направлению основного потока, а не по диагонали, как это бывает у сферических выемок отрывного типа. Протяжённость следа за исследованной выемкой, если отсчитывать от выходной кромки, составляет около $2d_r$ (d_r – гидравлический диаметр выемки в плане). При обтекании сферической выемки длина следа примерно в 2 раза меньше.

Исследования проводились на турбулентном режиме течения, который обычно реализуется в системах воздушного охлаждения современных ГТД и установок. Объектами исследования в опытах служили одиночные модели ДДВ (рис. 1) и их матрицы (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид матрицы с ДДВ

Число Рейнольдса, рассчитанное по гидравлическому диаметру канала, изменялось в диапазоне $Re_D = (1,1 \dots 5,7) \cdot 10^4$. Относительная плотность расположения выемок $f = 0,35$; относительная глубина выемок $(h/d_r) = 0,38$; относительная высота канала $(H/d_r) = 3,54$. Исследование теплоотдачи проводилось электрометрическим методом с

оценкой потерь теплоты в тестовых опытах. Относительная погрешность определения коэффициента теплоотдачи при доверительной вероятности 0,95 составляет 16,5%.

Результаты исследования средней теплоотдачи на теплообменной пластине с ДДВ (см. рис. 2), показаны на рис. 3.

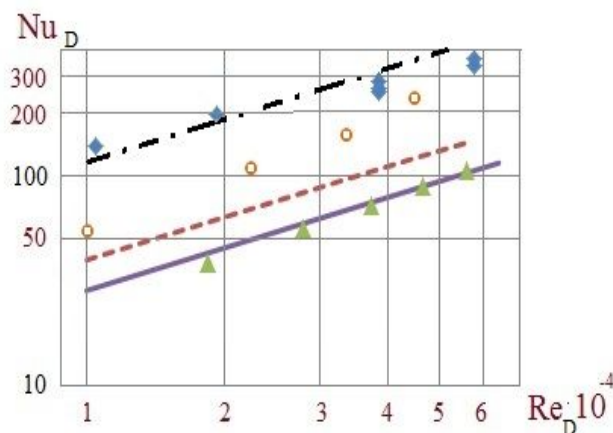


Рис. 3. Результаты опытного исследования средней теплоотдачи в канале с ДДВ и сравнение их с другими типами выемок: сплошная линия – гладкая поверхность, $Nu_D = 0,021Re_D^{0,8}Pr^{0,43}$; \blacktriangle – эксперимент авторов на гладкой пластине; \blacklozenge – эксперимент авторов с матрицей ДДВ; пунктирная линия – расчёт теплоотдачи для матрицы сферических выемок по данным Ю.М. Анурова для условий проведения опытов с ДДВ: $Nu/Nu_0 = 1 + 4,4[(h/d)r]^{0,8}(H/d)^{-0,6}$; \circ – матрица V-образных выемок по данным С. Neil Jordan, Lesley M. Wright

Из рисунка видно, что уровень теплоотдачи на теплообменной поверхности с ДДВ значительно превосходит интенсивность теплоотдачи на поверхности с традиционными сферическими выемками при прочих одинаковых условиях – в 2,5...3 раза. А по сравнению с V-образными выемками – в 1,5...2 раза.

Полученные результаты показывают перспективность исследованной схемы пристенного интенсификатора теплообмена. Однако требуются дальнейшие исследования для разработки рекомендаций к применению и оценки диапазонов их рационального использования, а также для уточнения и подтверждения сделанных выводов.