

температурного поля по сечению заготовки под выдавливание и в области формирования пера (в очаге деформации) при штамповке, и коэффициент контактного трения. Вследствие того, что коэффициент вытяжки при высокоскоростном выдавливании лопаток может превышать 10 едениц, применение различных видов стеклосмазок, эмалевых покрытий, графитовой суспензии и др. видов смазки не оказывает существенного влияния на снижение коэффициента контактного трения в области формирования профиля пера лопатки, поскольку смазка остается с поверхностными слоями металла заготовки в области формирования замковой и трактовой поверхностей лопатки. Одним из наиболее эффективных способов снижения коэффициента контактного трения при высокоскоростном выдавливании является покрытие исходных заготовок мягкими металлами. Оптимальным технологическим решением является нанесение на титановую заготовку никеля гальваническим методом. При температуре 980°C никель с титаном будут образовывать легкоплавкую эвтектику.

Так как воздействие индуктором будет кратковременным, легкоплавкая эвтектика будет образовываться в контакте с поверхностью прутка тонкой пленкой и осуществлять роль смазки. Это значительно уменьшит коэффициент контактного трения и обеспечит ламинарное течение металла в контактной зоне: штамповая оснастка – заготовка, что позволит приблизиться к эффекту жидкостно-граничного трения и создать равномерность напряженно-деформированного состояния по всему объему штамповки. Также это позволит увеличить ресурс работы штампов.

УДК 621.431.75

ПОДХОДЫ К CFD-МОДЕЛИРОВАНИЮ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

© 2012 А.В.Кривцов, Л.С. Шаблий

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева
(национальный исследовательский университет)

Создание равномерного температурного поля в момент деформирования будет достигаться за счет применения индукционного нагрева. В результате такого нагрева поверхность будет перегреваться по отношению к сердцевине. При переносе заготовки от индукционной печи к высокоскоростному молоту, заготовка охлаждается и будет происходить выравнивание температуры по сечению. Таким образом, в момент деформирования заготовка будет иметь практически одинаковую температуру по всему объему, а высокая скорость нагрева токами высокой частоты позволяет существенно снизить рост зерна. Это способствует созданию равномерной деформации и последующего структурно-фазового состояния и повышению свойств готового изделия.

В условиях кратковременности деформирования и последующем быстром охлаждении тонких полотен штампованной детали внутризеренная структура зависит не только от условий деформации, но и от фазовой перекристаллизации ориентированных в процессе деформации β -зерен. Вследствие увеличенной плотности дефектов кристаллического строения, препятствующих непрерывному и свободному росту α -пластин в одном направлении и способствующих зарождению новых α -пластин не только на границах, но и внутри зерен, формируется текстурованная мелкозернистая структура β -зерен с тонкопластинчатым разориентированным внутризеренным состоянием α -пластин. Такая структура обеспечивает получение наряду с высокими значениями прочности, пластичности выносливости, повышение КСТ в 4...5 раз по сравнению с традиционными глобулярными структурами.

APPROACHES FOR CFD SIMULATION OF GAS TURBINE ENGINE CORE OPERATING

© 2012 A. V. Krivcov, L.S. Shabliy

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University)

Various approaches FOR CFD SIMULATION OF GAS TURBINE ENGINE CORE OPERATING are presented. Their main advantages and disadvantages are described.

В настоящее время газодинамические расчёты с использованием метода вычислительной гидрогазодинамики (ВГД, CFD-Computational Fluid Dynamics) являются неотъемлемым инструментом процесса проектирования и доводки устройств со сложными газодинамическими процессами, каковым является газогенератор. Для его проектирования и доводки могут быть использованы как универсальные программные CFD-комплексы (например, ANSYS Fluent, ANSYS CFX), так и специализированные (например, Numeca FINE/Turbo). Причём универсальные как правило обладают более широким инструментарием, позволяющим одновременно охватить все происходящие в газогенераторе процессы. В свою очередь специализированные коды позволяют рассчитывать конкретные процессы легче и быстрее по сравнению с универсальными.

Рассмотрим подробнее процессы, происходящие в газогенераторе. Поток в лопаточных машинах характеризуется высокими числами Рейнольдса и Маха, необходимо точно описывать процессы в пограничных слоях лопаток, а также учитывать радиальные зазоры и перетекания. Наиболее подходящими моделями турбулентности являются модели Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS). Для камеры сгорания характерным является многокомпонентный состав рабочего тела, сложные механизмы процесса горения, процессы теплопередачи. Для моделирования таких потоков больше подходит модель турбулентности Large-Eddy-Simulation (LES), которая рассчитывает изменение положения

крупномасштабных вихрей с течением времени.

В будущем с повышением производительности суперкомпьютеров расчёт газогенератора, вероятно, будет легко осуществим по базовым методикам CFD-моделирования. Однако, актуальность задачи требует её решения на современном этапе развития вычислительной техники. В этой связи наиболее перспективными представляются два подхода:

– расчёт элементов газогенератора по отдельности, каждый с использованием наиболее подходящего для конкретной задачи (специализированного) CFD-комплекса. При этом согласование работы компрессора, камеры сгорания и турбины обеспечивается использованием результатов расчёта одних узлов в качестве входных условий для моделирования других;

– расчёт газогенератора целиком в одном универсальном CFD-пакете, обеспечивающем моделирование всех рабочих процессов с учетом упрощений, позволяющих «облегчить» задачу до приемлемого уровня.

Преимуществами первого подхода является возможность выбора наиболее эффективного решателя и отдельной настройки расчетных моделей для каждого узла газогенератора, а следовательно и более точное моделирование характерных процессов, выполненное с меньшими затратами. Так, например, камера сгорания может быть рассчитана в нестационарной постановке с LES-моделью турбулентности, в то время, как лопаточные машины могут быть рассчитаны в стационарной постановке с RANS-моделью.

Второй подход позволяет более полно осуществить моделирование взаимного влияния узлов газогенератора. Поскольку все процессы рассчитываются одновременно и моделируется в одной расчётной зоне, возможно определение совместной работы всех узлов газогенератора без дополнительных настроек решателя. Недостатком этого подхода является необходимость однородного задания состава рабочего тела и параметров моделирования, приводящая к неоправданному увеличению «расчётного веса» задачи. В данной постановке «тяжелая» задача может быть облегчена применением более грубой расчётной сетки, более простых моделей турбулентности и горения и использованием стационарных расчётов.

Таким образом первый подход видится более предпочтительным, поскольку позволяет путём более рационального моделирования достичь большей точности моделирования на тех же самых вычислительных ресурсах. Основным недостатком данного подхода является одностороннее влияние предыдущего расчёта на последующий, поскольку расчёты идут друг за другом, и как следствие получают расхождения по значениям основных интегральных параметров потока (массовый расход, полная температура и давление) на границах расчётных зон. Это расхождение можно сократить, введя учёт взаимовлияния узлов газогенератора путём

проведением итерационной коррекции граничных условий на основании серии расчётов. Для автоматизации этого процесса могут применяться программные сценарии.

Независимо от выбранного варианта моделирования при расчёте газогенератора необходимо определение основных «внешних» граничных условий: частоты вращения ротора, расхода топлива, среднего значения температуры перед турбиной, а также «программы регулирования» газогенератора. Поскольку неперенным условием моделирования является согласованность работы элементов газогенератора, то при адекватном моделировании должно быть обеспечено равенство мощностей турбины и компрессора. Возникшее рассогласование может оставаться без внимания (принимается за расчётную ошибку), либо должно компенсироваться управляющим воздействием: изменением частоты вращения ротора при сохранении режима работы КС или изменением количества подаваемого в КС топлива при сохранении частоты вращения ротора.

Таким образом, в настоящее время могут быть применены два варианта CFD-моделирования газогенератора с целью его газодинамической доводки. Выбор того или иного подхода зависит от требуемой точности расчёта, имеющихся в распоряжении вычислительных мощностей и времени на подготовку расчёта.

УДК 621.892

ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ЛОПАТОК АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2012 Кротинов Н.Б.

Самарский государственный технический университет, Самара

OUTLOOK OF THERMOPLASTIC STRENGTHENING OF BLADES AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES

© 2012 Krotinov N.B.

SGTU, Samara