

This work shows the influence of heat treatment regimes on structure and properties of wrought superalloys brands VZH175, EK151 and EP975 to gas turbine

Современные жаропрочные деформируемые сплавы для дисков ГТД имеют сложный химический и фазовый состав. Они относятся к классу дисперсионно-твердеющих сплавов, содержат более 14 легирующих элементов, которые образуют в матрице на основе никеля ( $\gamma$ -фазе) дисперсные выделения основной упрочняющей фазы  $\gamma'$  на базе интерметаллида  $Ni_3(Al,Ti)$ , а также частицы карбидов и боридов. Количество  $\gamma'$ -фазы в отдельных марках может достигать 60 %.

Термическая обработка таких материалов является не самостоятельной операцией, а частью сложного технологического цикла производства полуфабриката - штамповки диска турбины. Режимы термической обработки разрабатывают для каждого сплава с учетом его химического и фазового состава, состояния структуры после деформации, требований к физико-механическим свойствам и рабочей температуре.

В настоящей работе показано влияние режимов и технологии термической обработки на структуру и свойства новых жаропрочных деформируемых сплавов, разработанных ФГУП «ВИАМ».

Закалка выше или вблизи температуры полного растворения  $\gamma'$  фазы ( $T_{пр\gamma'}$ ) проводится для получения крупно-зернистой микроструктуры 50...120 мкм. Такую термическую обработку применяют для всех серийных отечественных сплавов, в том числе и для наиболее жаропрочного ЭП975 с температурой работы до 975 °С и количеством  $\gamma'$  фазы более 55%. При

закалке этого материала из однофазной области с замедленным охлаждением до температуры ниже  $T_{пр\gamma'}$  на 30...40 °С, формируются зерна 80...120 мкм с извилистыми границами, обеспечивающие по сравнению со стандартным режимом более высокую ударную вязкость и трещиностойкость. Внедрение такой термической обработки в серийное производство на ОАО «СМК» штамповок дисков турбины малоразмерных ГТД из сплава ЭП975 обеспечило более высокий и стабильный уровень свойств, снижение брака по жаропрочности на 25 %.

Для высокопрочных сплавов с рабочей температурой до 750 °С, к которым относится новый материал ВЖ175 и серийный ЭК151 были разработаны специальные режимы закалки и старения, обеспечивающие получение мелко-зернистой микро-структуры 15...20 мкм, с выделениями набора частиц упрочняющей  $\gamma'$  фазы от 0,3 мкм до 50 нм. В отличие от стандартной закалки, новый режим включает предварительный ступенчатый отжиг ниже  $T_{пр\gamma'}$  и закалку из двухфазной области. В результате увеличивается равномерность распределения зерен и частиц  $\gamma'$  фазы. Такая структура позволяет повысить прочность, и циклические характеристики без снижения жаропрочности.

Режим термической обработки сплава ВЖ175 внедрен в промышленное производство крупногабаритных штамповок дисков, обеспечивает стабильность получения регламентированной структуры и свойств.

## ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ОТРАСЛИ В ОБЛАСТИ ДИНАМИКИ ПОЛЁТА САМОЛЁТА

## TRAINING ENGINEERS IN AIRCRAFT FLIGHT DYNAMICS

©2012 Balakin V.L., Bayandina T.A., Ishkov S.A., Lazarev Y.N.

Department of flight dynamics and control systems involved in training students in flight dynamics. "Flight dynamics" refers to the number of disciplines that form the theoretical basis of aircraft. The purpose of the learning process is to teach students methodology of measurement the motion modes, flight characteristics, indices of aircraft controllability and stability

Кафедра динамики полёта и систем управления, созданная в 1967 году, в настоящее время ведёт обучение по динамике полёта самолёта студентов специальностей «Самолето- и вертолетостроение», «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей», «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов». Учебная дисциплина «Динамика полёта самолёта» относится к числу тех, которые образуют теоретическую основу авиационной техники. Её целью является обучение студентов методам расчёта режимов движения, лётных характеристик, показателей устойчивости и управляемости самолётов.

Задачей дисциплины является выявление зависимостей лётных характеристик, показателей устойчивости и управляемости от аэродинамических и конструктивных параметров самолёта и его двигательной установки.

Студенты изучают математические модели движения и методы их исследования, режимы полёта, устойчивость и управляемость, использование автоматических устройств для улучшения лётных характеристик самолёта.

В результате изучения дисциплины студенты умеют определять силы и моменты, действующие на самолёт при его движении, рассчитывать лётные и взлётно-посадочные характеристики самолёта, определять показатели продольной статической устойчивости и управляемости самолёта, рассчитывать переходные процессы в возмущённом движении самолёта, применять вычислительную технику при решении задач динамики

полёта самолёта. Для студентов факультета инженеров воздушного транспорта особое внимание обращается на вопросы, связанные с безопасностью полётов воздушных судов.

Учебный курс по дисциплине «Динамика полёта самолёта» состоит из двух частей.

В первой части изложены методы расчёта траекторий движения и лётно-технических характеристик самолёта. Самолёт рассматривается как управляемая материальная точка, к которой приложены действующие в полёте силы.

Во второй части изложены вопросы устойчивости невозмущённого движения и управляемости самолёта. Самолёт рассматривается как материальное тело, на которое в полёте действуют силы и моменты этих сил относительно центра масс.

При изучении дисциплины студенты выполняют цикл лабораторных работ и курсовую работу.

В учебном процессе активно используются результаты научной работы кафедры. В лекциях излагаются результаты исследований по динамике полёта гиперзвуковых маршевых самолётов, а также сверхзвуковых и гиперзвуковых самолётов-разгонщиков как первых ступеней авиационно-космических систем, предназначенных для запуска полезных нагрузок на околоземные орбиты.

По динамике полёта данных типов самолётов защищают дипломные проекты студенты разных специальностей.

Кафедра одной из первых в тогдашнем Куйбышевском авиационном институте ввела в строй и использовала в учебной и научной работе аналоговую и цифровую вычислительную технику. Сего-

дня в кафедральном компьютерном классе имеется программное обеспечение собственной разработки для проведения лабораторных работ.

На сайте кафедры размещены электронные учебно-методические материалы, разработанные преподавателями кафедры. Среди них, в частности, электронные курсы (конспекты) лекций «Динамика полёта самолёта. Расчёт траекторий и лётных характеристик», «Динамика полёта самолёта. Устойчивость и управляемость продольного движения», электронное учебное пособие «Расчёт лётных характеристик, продольной устойчивости и управляемости дозвукового самолёта», используемое в курсовом и дипломном проектировании. В пособии изложена методика расчёта основных лётных характеристик, характеристик продольной устойчивости и управляемости. Приведён необходимый аналитический, числовой и графический материал. Учебное пособие позволяет студентам самостоятельно проводить исследования по влиянию параметров самолёта на его лётно-технические характеристики, продольную устойчивость и управляемость.

На кафедре также имеются учебные пособия, в которых рассматриваются вопросы расчёта характеристик боковой устойчивости и управляемости самолёта, расчёта основных лётных характеристик и характеристик продольной устойчивости и управляемости сверхзвуковых самолётов.

Для проведения текущих и промежуточных аттестаций студентов используются разработанные преподавателями кафедры программно-дидактические тесты.

К настоящему времени в соответствии с федеральными государственными образовательными

стандартами (ФГОС) разработаны новые рабочие программы по дисциплине «Динамика полёта» для подготовки специалистов по специальности 160100 Самолето- и вертолестроение, по дисциплине «Динамика полёта» для подготовки бакалавров по направлению подготовки 162300.62 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, по дисциплинам (по выбору) «Основы аэродинамики и динамики полёта» и «Основы теории полёта самолёта» для подготовки бакалавров по направлению подготовки 162500.62 Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов.

На данные дисциплины опирается изучение дисциплин «Концептуальное проектирование самолётов» и «Системы приборного оборудования» специальности 160100, «Безопасность полётов и сохранение лётной годности» направления подготовки 162300.62, «Системы автоматического управления» направления подготовки 162500.62.

Знания, полученные при изучении динамики полёта самолёта, будут использоваться при дипломном проектировании специалистов и выполнении выпускной квалификационной работы бакалавра.

Дальнейшее совершенствование подготовки специалистов отрасли в области динамики полёта самолёта предполагает, в частности, развитие совместно с кафедрой аэрогидродинамики и с кафедрой конструкции и проектирования летательных аппаратов системы автоматизированного расчёта основных лётных характеристик их характеристик продольной устойчивости и управляемости для использования в дипломном проектировании.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СТУПЕНЕЙ САМОЛЁТНОГО ТИПА АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

©2012 Балакин В.Л., Баяндина Т.А., Кочян А.Г., Лазарев Ю.Н., Потапов В.И.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет), Самара