

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ СОЗДАНИЕМ УПОРЯДОЧЕННЫХ ДИСЛОКАЦИОННЫХ СТРУКТУР

© 2006 И.А. Дроздов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Предложен новый метод поверхностного деформированного упрочнения микрошариками, обеспечивающий повышение долговечности деталей в среднем от 1,5 до 10 и более раз.

В настоящее время в производстве новых авиационных двигателей и энергетических установок большое значение приобрело совершенствование изготовления деталей, основанное на целенаправленном изменении структуры и свойств жаропрочных никель-хромовых и титановых сплавов за счёт использования приоритетных или так называемых ключевых технологий. Такой новой технологией (повышающей надёжность и долговечность деталей, работающих при повышенных температурах) является финишная поверхностная обработка микрошариками. Особенно она оказалась эффективной для маложёстких тонкостенных с малоразмерными конструктивными концентраторами напряжений (в виде галтелей, канавок, острых кромок с радиусом при вершине около 0,1 мм, а также деталей с резьбой).

Пластическое деформирование микрошариками диаметром 160...200 мкм, производимых электротермическим методом [1], создаёт в поверхностном слое глубиной от 50 до 100 мкм при степенях деформации до 5% наклеп с остаточными сжимающими напряжениями до 900 МПа, повышающий предел усталости в 1,5 ... 2 раза. Этот эффект сохраняется для жаропрочных никель-хромовых сплавов до температур 650 ... 900 °С, а для титановых до 450 °С. При этом ресурс работы деталей турбины и компрессора ГТД (лопаток и дисков) возрастает от 75...100 ч до 6000 ч. Полученные превосходные результаты разработанного нового метода поверхностного деформированного упрочнения позволили внедрить обработку микрошариками на предприятиях отрасли, обеспечив повышение долговечности деталей в среднем от 1,5 до 10 и более раз [2].

При повышенных температурах остаточные напряжения в значительной степени релаксируют в связи со снятием наклепа и основное влияние на прочность деталей оказывают остаточные структурные изменения в поверхностном слое. Установлено [3], что при температурах ниже температур начала рекристаллизации оптимальная степень пластической деформации (до 5%) обеспечивает максимум усталостной и длительной прочности благодаря образованию полигональной структуры из дислокационных группировок от вида и равномерности объёмного распределения которых зависит сопротивление ползучести материала и, следовательно, эксплуатационная стойкость деталей. Для оптимального их построения, позволяющего добиться постоянно стабильного достижения высокой эксплуатационной стойкости, необходим предварительный до постановки в двигатель полигонизационный отжиг, режим которого следует подбирать (как и для упрочняющей обработки микрошариками) для каждой группы сплавов и деталей индивидуально.

Как известно [3], процесс ползучести определяется переползанием дислокаций, которое в свою очередь зависит от скорости самодиффузии, поставляющей вакансии или атомы, необходимые для движения дислокаций. В процессе ползучести многих металлов и сплавов образуются и развиваются субструктуры из различных дислокационных конфигураций, замедляющих этот процесс на первой стадии, что и наблюдается при эксплуатации поверхностно деформированных микрошариками деталей авиадвигателей.

Поскольку режим их работы (температура, усилия, цикличность) колеблется в широких пределах, оптимальность обра-

зующейся полигональной структуры при нагреве в процессе эксплуатации не гарантируется. Поэтому целесообразно создать оптимальную полигональную структуру предварительным отжигом, чтобы максимально повысить сопротивление ползучести и стабильно довести работоспособность деталей до верхнего предела. Именно такую обработку, названную механико-термической (МТО) рекомендуют сотрудники Имет РАН, которые провели многочисленные исследования, обосновавшие её эффективность [4,5].

Повышение жаропрочности при МТО вызвано не за счёт существенного увеличения плотности дислокаций, а равномерным их распределением по всему объёму (с образованием стабильных дислокационных конфигураций в виде субграниц, объёмных сплетений, стенок ячеек и т.п.), а также блокировкой (как отдельных дислокаций, так и их группировок) в результате взаимодействия с примесными атомами, сегрегациями либо частицами дисперсной фазы, и взаимодействием упругих полей дислокаций, образующих субповерхности раздела [6,7]. При этом для каждого материала существуют оптимальные степень деформации и температура отжига [4].

Таким образом, эффект повышения жаропрочности после МТО зависит от параметров получаемой структуры, размера субзёрен, угла их разориентировки, степени блокирования субграниц и однородности развития полигональной структуры.

Установлено [5,6], что в полигональном состоянии температура рекристаллизации металлов и сплавов повышается на 20-30% и тем выше, чем меньше степень деформации, так как температура начала рекристаллизации не является константой материала, а характеризует устойчивость упрочнения. Кроме того, критическая степень пластической деформации, необходимая для развития рекристаллизации, становится более высоко, чем в неполигонизованном.

Для эффективного упрочнения МТО никель-хромовых сплавов рекомендуется пластическая деформация от 2 до 5% с последующим стабилизирующим полигонизационным отжигом, формирующим ячеистую

фрагментацию дислокационной субструктуры. После такой обработки в сплаве ХН77ТЮ скорость диффузии при температуре 800°С снизилась почти в 2 раза, что обеспечило двукратное повышение эксплуатационной стойкости в условиях ползучести. При этом из-за снижения скорости объёмной диффузии замедляется также процесс коагуляции вторичных фаз [6,7].

Из всех существующих разновидностей процессов МТО [8] можно рекомендовать для поверхностно упрочнённых деталей микрошариками последующий перед эксплуатацией полигонизационный отжиг, что соответствует процессу МТО, а также процесс МХТО, отличающийся проведением после деформации азотирования с последующим длительным отжигом, приводящим к более полному блокированию дислокационных стенок и даже к равномерному выделению дисперсных нитридов.

Кроме этих процессов можно также рекомендовать использовать ДМТО и ММТО, то есть дробную и многократную МТО. При ДМТО предварительную деформацию (которая при МТО может проводиться как при нормальной, так и при повышенной температуре) осуществляют при повышенной температуре за несколько циклов с промежуточными полигонизационными отжигами при температуре деформирования. ДМТО, как и МТО, существенно повышает длительную жаропрочность при относительно небольшом увеличении статической прочности [8]. При ММТО многократное деформирование металла при нормальной температуре чередуется с полигонизационными отжигами (таких циклов должно быть не менее четырёх) повышается статическая прочность в 1,5 – 2 раза, которая сохраняется в условиях нагружения при повышенных температурах благодаря стабилизированной субструктуре заблокированных скоплений дислокаций высокой плотности, что редко улучшает жаропрочные свойства.

Для того, чтобы эти рекомендации были выполнены для конкретных материалов и деталей ГТД необходимо проведение научно-исследовательских работ по освоению и оптимизации технологических режимов этих эффективных методов упрочнения.

Список литературы

1. А.С. 417233 СССР, Способ получения металлических гранул / В.И. Волков, А.И. Дроздов, А.Н. Цейтлин и Г.И. Суханов. Заявлено 27.11.1972. Опублик. 28.02.1974. – Бюл.№8
2. Волков В.И. Разработка метода и исследование эффективности упрочнения микрошариками деталей ГТД из титановых и жаропрочных сталей и сплавов: автореферат дисс...к.т.н. – Куйбышев: КПТИ, 1976 – 26с.
3. Паркер Е.Р., Уошборн Дж. Влияние включений и несовершенств на механические свойства / Примеси и дефекты. – М.: Metallurgizdat, 1960. – С.169-184
4. Иванова В.С., Гордиенко Л.К. Новые пути повышения прочности металлов.– М.: Наука, 1964.– 118с.
5. Усталость и хрупкость металлических материалов / В.С. Иванова, С.Е. Гуревич, И.М. Копьев и др.- М.: Наука, 1968. - 215с.
6. Термопластическое упрочнение мартенситных сталей и титановых сплавов / М.Х. Шоршоров, Л.К. Гордиенко, В.И. Антипов и др. – М.: Наука, 1971. – 152с.
7. Гордиенко Л.К. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов.-М.: Наука, 1973. – 224с.
8. Термопластическое упрочнение конструкционных сталей, работающих при низких температурах / Р.С. Григорьев, В.П. Ларионов, Т.С. Сосин и др. – Новосибирск: Наука, 1974. – 48с.

POSSIBILITY OF THE RISE EXPLOITATION RESISTENCE DETAILS AIRCRAFT ENGINES OF THE CREATION ORDERED DISLOCATION STRUCTURES

© 2006 I.A. Drozdov

Samara state aerospace university

Method mechanical thermal processing increase of operational resistance of details gas-turbine engines.