

ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ И НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Описаны жаропрочные сплавы и некоторые технологии получения из них изделий для аэрокосмической техники.

Ключевые слова: сплавы, технологии, аэрокосмическая техника.

В связи с тем, что в процессе эксплуатации отдельные узлы и механизмы летательной аппаратуры подвергаются отличающимся воздействиями (термическим, силовым, газовой среде, коррозии и др.), комплекующие их детали изготавливают из сплавов, обладающих свойствами, противостоящими этим воздействиям, что требует применения сотен композиций, а также различных технологий изготовления из них деталей.

Конструкционные материалы характеризуются двумя основными параметрами [1]: прочностью, отвечающей за надежность работы сплава, и пластичностью – его способностью к формообразованию. При этом широкое применение находят только такие сплавы, у которых высок уровень обеих составляющих. Сплавы на основе железа, алюминия, магния, титана и др. охватывают огромный диапазон прочности и пластичности, что и предопределяет их использование в конструкциях до 95...96 % от массы машиностроительного изделия.

Особое место в авиации и ракетной технике занимают жаропрочные коррозионно-стойкие сплавы, детали из которых работают под нагрузками при температуре выше 1 000 °С.

Доля литых деталей в отдельных типах ЖРД составляет до 30 % массы двигателя [2].

Важнейшая задача при создании газотурбинного двигателя (ГТД) – повышение жаропрочности турбинных лопаток, в связи с тем, что в процессе эксплуатации они подвергаются высокому тепловым (температура газа перед турбиной достигает 1 640...1 940 К) и силовым нагрузкам (высокие «разрывающие» центробежные силы, например, частота вращения вентилятора двигателя SaM146 нового российского самолета Superjet-100 составляет 6 694 в минуту).

В настоящее время лопатки изготавливают из сплавов на основе Ni, Co и Fe, прочностные показатели которых стало возможным повысить в результате увеличения содержания Al и Ti при дополнительном легировании Mo, W, Nb, Ta, Hf и др., а также микролегирования B, Zr, Y, La, Ce [3].

В результате модифицирования целого ряда жаропрочных никелевых сплавов дисперсными частицами тугоплавких соединений (NbN, TiCN) измельчалась структура лопаток, повышалась длительная прочность и ресурс их работы [4]. Большой объем работ по применению нанопорошков тугоплавких соединений для модифицирования жаропрочных сплавов, включая их применение для литья лопаток, выполнен в работе [5]. Установлено положительное влияние модифицирования нанопорошками на качество высоконагруженных деталей транспортных средств [6; 7].

В связи с полученными во многих работах положительными результатами применения нанопорошков при

производстве металлоизделий, в рамках «Федеральной космической программы России на 2006–2015 гг.» предусмотрена разработка технологического процесса получения высокопрочных нагруженных литых деталей ЖРД из высоколегированных жаропрочных сплавов с применением нанопорошков.

Повышение жаропрочности турбинных лопаток достигается также благодаря разработанной ВИАМом [8] технологии их получения методом направленной кристаллизации в виде монокристаллических изделий, что приводит к росту предела их выносливости σ^{-1} до 875 МПа (вместо 650 для обычной технологии), ресурса – 34...36 тыс. ч (вместо 24...27 тыс. ч).

Кроме того, такие лопатки обладают существенной анизотропией характеристик упругости, кратковременной и длительной прочности, пластичности, ползучести, многоциклового и малоциклового усталости и трещиностойкости [9], что связано с особенностями формирующейся при получении лопаток структуры – отсутствием большеугловых границ зерен, уменьшением дендритной ликвации и расстояний между осями дендритов, подавлением образования легкоплавких неравновесных фаз эвтектического происхождения, исключением образования ростовых дефектов в виде цепочек равноосных зерен, нарушающих монокристаллическую структуру [8].

В последнее время в качестве легирующих компонентов жаропрочных сплавов применяют Re (9...10 %), что приводит к существенному увеличению уровня рабочих температур и ресурса монокристаллических лопаток [8].

Другие сложности встречаются при литье из жаропрочных сплавов цельнолитого ротора, который представляет собой представляющей собой высокоточную деталь сложной геометрии, сочетающую массивный (обод) и тончайшие элементы сложной геометрии (лопатки). В связи с тем, что эти детали работают в условиях высоких силовых и тепловых нагрузок, к их качеству предъявляются повышенные требования (практически полное отсутствие любых литейных дефектов), которые могут быть выполнены при их изготовлении единственно возможным для этого случая способом – литьем по выплавляемым моделям. На основании результатов применения метода экспертных оценок [10] была изменена литниково-питающая система (см. рисунок) [11], что обеспечило почти 100-процентную годность отливок как по рентгеновскому просвечиванию, так и по результатам других методов (еще 5 видов) контроля. Кроме того, в результате уменьшения размеров ЛПС, расход дорогостоящих сплавов уменьшился на 20...25 %.

Следует отметить, что в связи с большой номенклатурой сталей и сплавов, применяемых при производстве

ЖРД, необходимо на всех технологических этапах их изготовления применять различные методы контроля, включая неразрушающие [12].



Отливка ротора с литниково-питающей системой

Таким образом, изложенный в работе материал показывает, что при производстве двигателей летательных аппаратов широко применяются жаропрочные сплавы, обладающие комплексом физико-механических характеристик, удовлетворяющих сложным условиям эксплуатации. При этом, в зависимости от состава сплавов при изготовлении конкретных деталей необходимо применять различные технологии, а также неразрушающие методы контроля, позволяющие оценить качество изделий.

Библиографический список

1. Лякишев, Н. П. Новые материалы: в поисках точного адреса / Н. П. Лякишев. Вестник РАН. 1997. № 5. Т. 67. С. 403–414.
2. Новости космонавтики [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.novostikosmonavtiki.ru>. Загл. с экрана.
3. Каблов, Е. Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы / Е. Н. Каблов. Вестник РАН. 2002. № 1. Т. 72. С. 3–12.
4. Фаткуллин, О. Х. Модифицирование жаропрочных никелевых сплавов дисперсными частицами тугоплавких соединений / О. Х. Фаткуллин, А. А. Офицеров // Литейное производство. 1993. № 4. С. 13–14.
5. Сабуров, В. П. Разработка и внедрение технологии суспензионного модифицирования стали и никелевых сплавов : автореф. ... дис. д-ра техн. наук / В. П. Сабуров. Свердловск : УПИ, 1991.
6. Крушенко, Г. Г. Нанопорошки химических соединений - средство повышения качества металлоизделий и конструкционной прочности / Г. Г. Крушенко // Заводская лаборатория. 1999. № 11. Т. 65. С. 42–50.
7. Крушенко, Г. Г. Применение нанопорошков при изготовлении высоконагруженных деталей транспортных средств / Г. Г. Крушенко, В. Е. Редькин, И. В. Карпов, В. М. Гончаров // Технология машиностроения. 2003. № 2. С. 37–40.
8. Каблов, Е. Н. Физико-химические и технологические особенности создания жаропрочных сплавов, содержащих рений / Е. Н. Каблов // Вестник МГУ. Сер. 2. Химия. 2005. № 3. Т. 46. С. 155–167.
9. Ножницкий, Ю. А. Обеспечение прочностной надежности монокристаллических рабочих лопаток высокотемпературных турбин перспективных ГТД / Ю. А. Ножницкий, Е. Р. Голубовский // Тр. междунар. науч.-техн. конф. М. : ВИАМ, 2006. С. 65–70.
10. Элти, Дж. Экспертные системы: концепции и примеры / Дж. Элти, М. Кумбс. М. : Финансы и статистика, 1987.
11. Крушенко, Г. Г. Литниково-питающая система для отливки типа «Диск» из жаропрочного сплава / Г. Г. Крушенко, Ю. М. Мусохранов, В. П. Сальников // Литейное производство. 1982. № 5. С. 16–17.
12. Кашубский, А. Н. Определение марок сталей и сплавов, используемых при производстве ЖРД, неразрушающими методами / А. Н. Кашубский, Г. Г. Крушенко // Новые материалы и технологии в авиационной и ракетно-космической технике : тез. докл. III конкурс. конф. молодых специалистов авиац., ракетно-космич. и металлургич. организаций России. Королев : ИПК «Машприбор», 2004. С. 102–104.

G. G. Krushenko, S. N. Reshetnikova

THE HEAT-RESISTANT ALLOYS AND SOME TECHNOLOGY IN AEROSPACE INDUSTRY

The heat-resistant alloys and some machinery technologies for aerospace industry are described.

Keywords: alloys, technologies, aerospace industry.