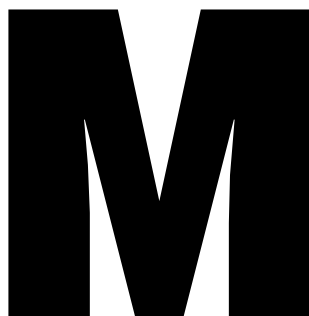


Оценка соответствия новых материалов с использованием СО и МИ высокого уровня

Говорится о проблеме контроля качества создаваемых новых металлических материалов с заданными эксплуатационными свойствами на примере жаропрочных никелевых сплавов; о необходимости контроля химического состава и механических свойств материала, его структурно-фазового состояния. Статья подготовлена в рамках реализации комплексной проблемы 2.1 «Фундаментально-ориентированные исследования»¹



Е.Н. Каблов

генеральный директор ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»),
Москва, Россия, admin@viam.ru,
д-р техн. наук, профессор,
академик РАН

Е.Б. Чабина

заместитель начальника испытательного центра ФГУП «ВИАМ», Москва, Россия,
канд. техн. наук

Г.А. Морозов

заместитель начальника службы качества ФГУП «ВИАМ»,
Москва, Россия, tk_182@viam.ru,
канд. техн. наук

Н.П. Муравская

заместитель директора по качеству ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений»,
Москва, Россия,
д-р техн. наук, доцент

¹ «Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»

ключевые слова

стандартный образец, методика измерений, средство измерения, первичный эталон, структура, состав, жаропрочный никелевый сплав

ноголетняя отечественная и зарубежная практика показывает, что более 80 % инновационных разработок в ведущих отраслях промышленности и секторах экономики базируются на внедрении новых материалов и технологий их производства [1, 2]. Создание изделий авиационно-космической техники и сложных технических систем в различных отраслях промышленности невозможно без появления новых материалов с заданными свойствами и эксплуатационными характеристиками [2–5]. Возрастающая конкуренция в области производства материалов специального назначения привела к значительному ужесточению требований, предъявляемых потребителями к качеству этих материалов. Под качеством материала понимают комплекс свойств, необходимых потребителю [6]. Для обеспечения конкурентоспособности материалов отечественных производителей требуется высокоэффективный контроль качества сырья и готовой продукции [7, 8].

Основными целями ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (далее — 102-ФЗ) стали установление правовых основ обеспечения единства измерений, защита прав и законных интересов граждан, общества и государства, обеспечение потребности в измерениях, содействие развитию экономики с учетом действующего в России законодательства. В законе дано четкое определение государственной эталонной базы Российской Федерации и указано, что государственные первичные эталоны содержатся и применяются в государственных научных метрологических институтах. Правительство РФ определяет порядок их утверждения, содержания, сличения и применения, а также утверждает перечень средств

измерений (СИ), поверка которых осуществляется только аккредитованными государственными региональными центрами метрологии [9].

102-ФЗ установил следующие формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений:

- ▶ утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений;
- ▶ поверку средств измерений;
- ▶ метрологическую экспертизу;
- ▶ аттестацию методик (методов) измерений;
- ▶ аккредитацию юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений;
- ▶ государственный метрологический надзор.

Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» является законодательной основой для признания международным сообществом результатов регулирующих действий Российской Федерации по обеспечению единства измерений потому, что все предусмотренные в нем подходы применяются в развитых странах [9].

В настоящее время в авиационной отрасли расширяется применение новых классов материалов, включая наноструктурированные: интерметаллидов, керамики, полимеров, композиционных материалов на металлической и керамической основах [2, 3, 10]. Разработка новых материалов и технологий их получения требует проведения комплексных исследований структурно-фазового состояния, механизмов деформации матричной и упрочняющих фаз, механизмов разрушения, изменения структуры материалов в условиях приближенных к эксплуатационным.

Исследования проводят в процессах технологического цикла производства материалов и деталей и их эксплуатации [11, 12]. При этом увеличивается количество определяемых характеристик (показателей качества) и повышаются требования к точности их определения [6, 9].

Однако, несмотря на появление новых классов материалов, применяемых в современных и предназначенных для перспективных летательных аппаратов, доля металлических материалов в них остается значительной [2, 3]. Количество разнообразных характеристик металлических материалов, определяемых в ходе их производства и для готовой продукции, значительно выше, чем у существующих и разрабатываемых керамических, полимерных и прочих материалов, используемых в авиационной технике. Свойства металлических материалов (сплавов на различных основах) определяются их структурой. Поэтому для получения заданных свойств необходимо уделить структуру сплавов формируют на различных, как правило, заключительных стадиях технологического процесса, таких как направленная кристаллизация, деформация, термическая обработка, путем специальных технологических приемов [13–16]. Главным фактором, определяющим возможность получения заданной структуры, является химический состав сплава.

Чем выше требования к новому металлическому материалу, тем сильнее ужесточаются требования к его химическому составу: сужаются интервалы легирования и микролегирования, повышается чистота по примесям [13, 14, 16], растут требования к чувствительности (до десятых и сотых долей ppm) и точности измерений (снижение погрешности определения содержания элементов до 0,5 % относительных при содержании элементов 0,01 % масс и менее) при контроле химического состава [6, 7, 9, 17]. Такие измерения можно выполнить корректно только в аналитической лаборатории, оснащенной высокоточным оборудованием, набором стандартных образцов (СО),

имеющей комплект методик измерений (МИ) и аккредитованной соответствующими компетентными органами [6, 8].

Авторы раскрывают тему оценки соответствия новых материалов с использованием стандартных образцов и методик измерений высокого уровня на примере жаропрочных сплавов на никелевой основе, применяемых для изготовления деталей газотурбинных двигателей (ГТД) и газотурбинных установок (ГТУ). Жаропрочные никелевые сплавы делятся на два класса, имеющих одинаковую систему легирования (Ni-Co-Cr-Al-Ti-Nb-Mo-W-Ta-Re) и фазовый состав, но отличающихся по структуре и способу производства: литейные и деформируемые [13, 16]. В данную группу входят также литейные интерметаллидные сплавы на основе никеля и алюминия [14].

Жаропрочные никелевые сплавы относятся к дисперсионно-твердеющим. При охлаждении из γ -твердого раствора, имеющего гранцентрированную кубическую решетку, выделяется когерентная γ' -фаза (интерметаллическое соединение на основе Ni_3Al), дополнительно упрочняющая матрицу. Содержание γ' -фазы в наиболее сложнелегированных сплавах достигает до 75–80 %. Гетерофазная структура сплавов является одним из основных факторов, обеспечивающих их жаропрочность [4, 13, 14, 16, 18]. Поэтому ключевыми в общей проблеме жаропрочности являются вопросы легирования и обеспечения термостабильности γ' -фазы.

В состав современных жаропрочных литых, деформируемых и интерметаллидных никелевых сплавов входят до 15–20 легирующих, микролегирующих и примесных элементов, содержание которых необходимо контролировать при их производстве. Для получения заявленных механических свойств недостаточно контроля химического состава, необходимо также контролировать структурно-фазовое состояние материала. При этом качественного описания созданной структуры недостаточно, ну-

справка

Принцип многокомпонентного легирования, направленный на совершенствование гетерофазного строения сплавов, выдвинутый академиком С.Т. Кишкиным, — это основной принцип теории легирования жаропрочных сплавов [18]. Многокомпонентное легирование δ -твердого раствора и γ' -фазы проводят так, чтобы обеспечить высокую фазовую и структурную стабильность сплава. При достижении определенного соотношения между суммарным содержанием Al, Ti, Nb (γ' -образующие элементы) и суммарным содержанием Mo, Cr, W (преимущественно γ -стабилизирующие элементы) получают оптимальное соотношение параметров кристаллических решеток γ -твердого раствора и когерентной γ' -фазы (мисфит), при котором обеспечиваются максимальное упрочнение и стабильность структуры. При этом в материале имеются частицы γ' -фазы разных размеров, в том числе наноразмерные, формирующиеся путем сложной термической обработки, включающей операции закалки и старения. Упрочнение границ зерен деформируемых сплавов достигается за счет выделения на них карбидов и боридов на основе Nb, Ti, W, Mo, Cr, а также избирательным микролегированием редкоземельными элементами. Для обеспечения высокой жаропрочности материала зернограницные выделения должны быть глобулярными, иметь размер 1 мкм и менее и равномерно распределяться по границам зерен, но при этом они не должны образовывать сплошную сетку. Вероятность образования топологических плотно упакованных (ТПУ) фаз (σ -, μ -фаз, фаз Лавеса), а также карбидов типа МБС, приводящих к разупрочнению сплава, должна быть сведена до минимума [4, 15, 16]