

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Рецензия

на монографию Каблова Е. Н., Голубовского Е. Р. «Жаропрочность никелевых сплавов». – М.: Машиностроение, 1998. – 464 с.

В книге представлены результаты научных исследований, выполненных под руководством и при непосредственном участии авторов за последние 15 лет.

В качестве объектов исследований рассмотрены жаропрочные никелевые сплавы, разработанные в Государственном научном центре “Всероссийский институт авиационных материалов” (ВИАМ) для современных и перспективных изделий авиационной техники.

Авторами изучены основные служебные характеристики жаропрочности (длительная прочность, ползучесть и длительная пластичность) широкого класса сплавов для наиболее ответственных деталей горячего тракта авиационных газотурбинных двигателей (диски и лопатки турбины).

Представлен большой объем фактических результатов экспериментального и теоретического исследования сплавов (при гомологических температурах $-0,5 \leq \Theta \leq 0,9$), полученных с использованием современных технологических процессов (в том числе методы гранульной технологии, направленная кристаллизация и монокристаллическое литье), обеспечивающих весь спектр структурных состояний сплавов, применяемых в дисках и лопатках турбины – деформируемые и компактированные сплавы, литейные сплавы с равноосной, столбчатой, монокристаллической структурой, сплавы на основе интерметаллида Ni_3Al и сплавы с естественной композиционной структурой, которая формируется при специальных режимах направленной кристаллизации слитка (матрицей сплава является γ -твердый раствор, упрочненный частицами γ' -фазы и армированный волокнами монокристаллического карбида ниобия NbC). При этом авторы не ограничились традиционными испытаниями на одноосное растяжение. Приведены результаты испытаний трубчатых образцов при сложном напряженном состоянии в двух квадрантах плоских напряженных состояний ($\sigma_1 > 0, \sigma_2 = 0, \sigma_3 < 0$ и $\sigma_1 > 0, \sigma_2 > 0, \sigma_3 = 0$). Подробно показаны принципиальные схемы, отдельные особо ответственные конструкционные узлы и общие виды установок, на которых были проведены испытания. Представлены экспериментальные данные, полученные в условиях программных забросов температуры и нагрузок и при комбинированном воздействии ползучести и малоциклового усталости.

Весьма представительные выборки экспериментальных данных позволили авторам не только получить численные значения коэффициентов сформулированных математических моделей, но и оценить статистическую адекватность этих моделей, а также установить некоторые интересные закономерности изменения дисперсии характеристик жаропрочности с температурой и долговечностью.

Необходимо отметить, что авторы не ограничились предложением феноменологических моделей, но и попытались раскрыть физический и механический смысл параметров, входящих в эти модели (уравнения температурно-силовой зависимости характеристик жаропрочности, обобщенный критерий эквивалентности напряженных состояний и т.п.). При этом достаточно подробно исследованы особенности развития микротрещин в сплавах с равноосной, столбчатой, монокристаллической и композиционной структурами и показана их возможная корреляция с вышеуказанными параметрами, что является достоинством рецензируемой книги по сравнению с монографиями сугубо прочностного характера.

Большая часть монографии посвящена исследованиям длительной прочности и ползучести сплавов со столбчатой и монокристаллической структурой – именно такую структуру имеют лопатки первых ступеней турбины современных авиационных двигателей и промышленных газовых турбин. Поэтому процессы длительной прочности и ползучести с учетом влияния напряженного состояния, забросов температуры и нагрузки в значительной мере могут определять работоспособность и ресурс лопаток. Закономерности изменения характеристик жаропрочности, экспериментально установленные авторами, показывают, что феноменологические модели, которые предложены для сплавов с традиционной поликристаллической структурой, успешно “работают” и для сплавов с монокристаллической структурой в условиях одноосного растяжения с ориентацией растягивающей силы в заданном кристаллографическом направлении. При этом для учета кристаллографической анизотропии характеристик жаропрочности авторы ввели новое понятие – коэффициент анизотропии характеристик жаропрочности. Представленные результаты изменения коэффициентов анизотропии с температурой и долговечностью свидетельствуют о том, что в отличие от анизотропии упругих констант материалов с ГЦК-решеткой, анизотропия длительной прочности и ползучести изменяется с долговечностью. Кроме того, для разных сплавов с ГЦК-решеткой закономерности изменения коэффициента анизотропии различны в одних и тех же температурно-временных условиях. Безусловно, эти результаты расширяют наши представления о жаропрочности монокристаллов.

В случае напряженного состояния, отличного от одноосного растяжения, задача построения феноменологической модели длительной прочности и ползучести сплава с монокристаллической структурой сильно усложняется из-за кристаллографической анизотропии этих характеристик. В монографии рассмотрена возможность построения критерия эквивалентности напряженных состояний для материалов с ГЦК-решеткой. Однако даже для такого частного случая монокристаллов авторам пришлось сделать упрощающие допущения, чтобы выражение для критерия было приемлемо для практического использования. Экспериментальные данные, полученные на монокристаллических трубчатых образцах при плоских напряженных состояниях, позволили определить четыре параметра предложенного критерия. Однако для оценки адекватности критерия необходима еще одна, независимая серия экспериментов, которая не включается в выборку для определения этих параметров. Поэтому сформулированный критерий сле-

дует рассматривать как попытку в первом приближении, но не как окончательный результат.

Несомненно, решение проблемы по исследованию и формулированию критерия эквивалентности напряженных состояний для монокристаллических конструкционных материалов (включая изготовление образцов и проведение эксперимента) весьма трудоемкая и экономически очень сложная задача, которая, по-видимому, могла бы быть решена при объединении усилий различных заинтересованных организаций.

В последней главе монографии изложены результаты исследований длительной прочности и ползучести сплавов в условиях периодических забросов температуры и нагрузки, которые свидетельствуют о значительных отклонениях от закона линейного суммирования относительных долговечностей. Авторы в течение ряда лет использовали метод многофакторного планирования эксперимента для расчетной оценки характеристик жаропрочности никелевых сплавов при нестационарных режимах. В пятой главе систематизированы все эти данные применительно к деформируемым и литейным сплавам с равноосной, столбчатой и монокристаллической структурой. Убедительно показано, что результаты расчета и эксперимента находятся в удовлетворительном соответствии, а эмпирические соотношения обеспечивают существенно более высокую точность (примерно в два раза), чем метод линейного суммирования относительных долговечностей.

Отметим, что одним из достоинств монографии является обширный справочный материал по характеристикам длительной прочности, ползучести и длительной пластичности 30 никелевых сплавов, приведенный в виде графиков и таблиц.

В целом монография представляет несомненный интерес не только для ученых, занимающихся разработкой и исследованием жаропрочных металлических материалов, но и для сотрудников КБ и заводов – разработчиков и производителей газотурбинных двигателей авиационно-космического, судового и промышленного назначения. Кроме того, она, безусловно, будет полезна аспирантам и студентам старших курсов вузов соответствующих специальностей.

Академик НАН Украины
А. А. Лебедев