

Влияние легирующих элементов на механические свойства и структуру сплавов на основе никеля*

Изучено влияние легирующих элементов на механические и эксплуатационные свойства жаропрочных сплавов на основе никеля с целью дальнейшего прогнозирования и получения сплавов с необходимыми свойствами.

Ключевые слова: никель, сплав, легирование, свойства, прогнозирование, модель

Жаропрочные сплавы на никелевой основе нашли широкое применение при изготовлении газотурбинных двигателей, главным образом, в виде рабочих и сопловых лопаток и в меньшей степени в качестве турбинных дисков и колец. В результате сложного легирования у сплавов этой группы достигнуты наиболее высокие жаропрочные свойства по сравнению с жаропрочными свойствами сплавов на железной и кобальтовой основах.

Специфика условий работы лопаток газовых турбин определяет характер требований к материалам, из которых они изготавливаются. При этом в зависимости от назначения (сопловые или рабочие лопатки) требования к уровню свойств различны. Отличаются также температурно-силовые параметры работы лопаток первой и последующих ступеней. В частности сопловые лопатки работают при более высоких температурах по сравнению с рабочими, а также на изгиб под воздействием сил газового потока, на них также оказывают воздействие тепловые нагрузки, обусловленные неравномерностью температурного поля лопаток как при стационарной работе двигателя, так и при изменении режимов его работы.

На сопловые лопатки в значительно меньшей мере действуют знакопеременные нагрузки. Уровень возникающих в них напряжений ниже, чем в рабочих лопатках, подвергающихся действию центробежных сил. Газовая коррозия, обусловленная недостаточной жаростойкостью сплавов, является одним из типичных видов повреждений сопловых лопаток. Поэтому главное требование к сплавам, предназначенным для сопловых лопаток, заключается в обеспечении высокого уровня необходимых эксплуатационных свойств.

Создание новых высокожаропрочных литейных сплавов и технологий литья позволит улучшить основные эксплуатационные свойства лопаток, требуемые для повышения ресурса и надежности работы серийных авиационных газотурбинных двигателей, а также разработки приоритетных двигателей нового поколения.

Современные жаропрочные сплавы на никелевой

основе имеют, как правило, сложный химический состав, так как к ним предъявляются различные требования. В связи с этим для разработки новых сплавов с необходимыми механическими свойствами нужно проводить многочисленные эксперименты, которые влекут за собой безвозвратные потери дорогостоящих материалов, денег и времени. Для решения таких проблем целесообразно установить зависимость влияния легирующих элементов на свойства и структуру жаропрочных сплавов по экспериментальным и статистическим данным.

Результаты проведенных исследований показали, что алюминий и титан – основные γ -образующие элементы в сплавах, которые увеличивают стойкость сплавов при высокой температуре. Алюминий является также элементом, обеспечивающим эффективную защиту жаропрочных никелевых сплавов от высокотемпературной газовой коррозии. Ниобий заметно упрочняет твердый раствор и одновременно, находясь в γ -фазе и карбидах, повышает жаропрочность и снижает склонность сплавов к старению. Он благоприятно влияет на уменьшение склонности к зональной ликвации, повышает температуру рекристаллизации и замедляет диффузионные процессы, в результате возрастают стабильность и жаропрочность сплава. Тантал является одним из элементов, оказывающих сильное влияние на термическую устойчивость γ -фазы. Входя в состав карбидов, он улучшает их морфологию и, соответственно, совершенствует механизм карбидного упрочнения. Легирование жаропрочных сплавов танталом обеспечивает их длительную работоспособность при повышенной температуре. Вольфрам – один из наиболее эффективных упрочнителей жаропрочных сплавов, его отрицательное влияние на пластичность сравнительно невелико, он также повышает термостабильность γ -фазы и снижает диффузионные процессы в сплавах при высоких температурах. Рений существенно улучшает жаропрочные свойства сплавов, повышает температуру плавления, снижает диффузионные процессы, протекающие при высоких температурах в жаропрочных никелевых сплавах, а также

* По материалам VI Международной научно-практической конференции «ЛИТЬЕ-2010», состоявшейся 21-23 апреля 2010 г. в Запорожье

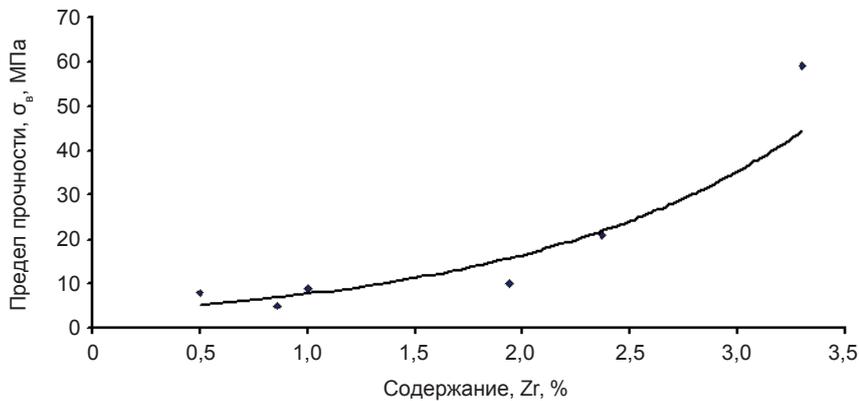


Рис. 1 Изменение значений σ_b в жаропрочных никелевых сплавах в зависимости от содержания циркония: $\sigma_b = 3,6382e^{0,7585 Zr}$, МПа; $r = 0,92$

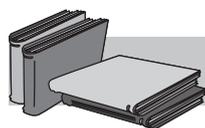
существенно повышает их сопротивление высокотемпературной газовой коррозии. Хром повышает механические и эксплуатационные свойства, но при увеличении легирующих элементов жаропрочность снижается. Вызвано это тем, что в сложнолегированном многокомпонентном твердом растворе растворимость хрома уменьшается. Хром образует самостоятельные фазы либо способствует их образованию, что приводит к ухудшению свойств как из-за возникновения фаз неблагоприятной морфологии, так и вследствие обеднения основных фаз, необходимых для их стабильности, легирующими элементами. Вместе с тем снижение содержания хрома приводит к неизбежному снижению жаростойкости. Кобальт в небольшой степени повышает жаропрочность и приводит к заметному увеличению

высоких сплавов;

– разработать методику с построением графических моделей, позволяющих прогнозировать свойства, макро- и микроструктуру сплавов.

Примером решения поставленных задач является зависимость, представленная на рисунке. По результатам влияния циркония (Zr, %) на предел прочности (σ_b) для нескольких никелевых сплавов (X20H80, ХН60ВТ, ХН65ВБМЮ) построена графическая модель с уравнением математической зависимости и высоким коэффициентом корреляции ($r = 0,92$).

В дальнейшем результаты работы дадут возможность прогнозировать с наименьшими затратами, а при необходимости практически подтверждать свойства исследуемых сплавов.



ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей. – М.: Наука, 1998. – 632 с.
2. Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. – М.: Машиностроение, 1965. – 637 с.
3. Структура и свойства никелевого сплава X20H80, легированного цирконием / В. В. Тарабин, Н. А. Лысенко, П. Д. Жеманюк, Э. И. Цивирко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2002. – № 1. – С. 25-28.
4. Легирование и модифицирование никелевых сплавов цирконием / Э. И. Цивирко, Н. А. Лысенко, В. Г. Клочихин, П. Д. Жеманюк // Там же. – 2007. – № 2. – С. 22-29.
5. Полинец В. А., Зимина Л. Н., Цветкова В. К. Влияние бора, церия и циркония на свойства литого сплава ХН65ВБМЮ // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1978. – № 11. – С. 37-40.

Анотація

Солоков С. С., Самойлов Ю. В., Самойлов В. Є.

Вплив легуючих елементів на механічні властивості та структуру сплавів на основі нікелю

Вивчено вплив легуючих елементів на механічні та експлуатаційні властивості жароміцних сплавів на основі нікелю з метою подальшого прогнозування та отримання сплавів з необхідними властивостями.

Ключові слова

нікель, сплав, легування, властивості, прогнозування, модель