

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ И МЕТОДИКА СИНТЕЗА ЛОПАТОК СТАЦИОНАРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Л. К. Ишмухаметова, А. А. Ганеев

Уфимский государственный авиационный технический университет,
г. Уфа, Россия

Мощность газотурбинных двигателей возрастает по мере повышения температуры газа на входе в турбину. Однако температурный режим работы турбин ограничивается характеристиками жаропрочности материалов, применяемых главным образом для изготовления лопаток. Этим обстоятельством вызвана необходимость повышения жаропрочности лопаточных сплавов.

Литые жаропрочные сплавы обладают определенными преимуществами перед деформируемыми. Главное преимущество заключается в том, что состав их не лимитируется необходимостью пластической обработки и в связи с этим допускается более высокая степень легирования. В результате достигается преимущество в жаропрочности примерно на 50 °С. Существенным преимуществом литых гетерогенных жаропрочных сплавов является также способность их сохранять в течение более длительного времени прочность при высоких температурах за счет наделения тугоплавкой мелкодисперсной фазы в виде сетчатых или скелетообразных образований, создающих устойчивую блокировку плоскостей скольжения в основной массе сплава. Кроме того, придание формы лопаткам методом литья позволяет получить лопатки любой сложности, экономить дорогостоящие и дефицитные материалы, электроэнергию и сократить трудоемкость механических работ.

При высоких температурах поведение металла определяется напряжением и временем приложения нагрузки. Чем больше срок службы при высоких температурах, тем меньше сопротивление ползучести и меньший предел длительной прочности материала. Такие зависимости объясняются более сильными изменениями структуры сплава под воздействием длительных сроков службы по сравнению с кратковременными.

Условия работы лопаток газовых турбин чрезвычайно тяжелые. Они подвергаются воздействию высоких статических и динамических нагрузок, окисляющей атмосфере и ударам твердых частиц, увлекаемых газовым потоком.

В связи с вышеизложенным к жаропрочным сплавам для литых турбинных лопаток стационарных газотурбинных установок с рабочей температурой металла до 1000 °С предъявляются следующие требования:

1. Высокое сопротивление общей межкристаллитной и особенно локальной и язвенной коррозии при рабочих температурах.

2. Высокая усталостная прочность. Минимальное значение условного предела усталости должно быть не менее 0,4 σ_В на базе испытаний 10⁸ циклов.

3. Эффективный коэффициент концентрации при усталостных испытаниях не должен быть ниже 0,6.

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1k}}{\sigma_{-1}}$$

4. Высокое сопротивление термической усталости.

5. Высокая теплопроводность, низкий коэффициент линейного расширения и низкий удельный вес.

6. Состав сплава должен обеспечить стабильное состояние упрочняющей фазы, высокую устойчивость ее частиц против коагуляции и растворения.

Особое внимание должно быть обращено на межзеренную прочность сплавов, определяющих при данных температурных условиях длительную пластичность. Следует предотвратить образование в сплавах σ-фазы и фазы типа Co₇W₆, особенно их игольчатых модификаций, резко снижающих пластичность и ударную вязкость металла.

7. Удовлетворительная жидкотекучесть сплава, обеспечивающая хорошее заполнение форм требуемой конфигурации.

8. Получение отливок свободных от усадочных дефектов, горячих трещин и межкристаллитных дефектов.

9. Низкая склонность сплава к пленообразованию, обеспечивающая минимальное развитие различных поверхностных или подкорковых дефектов;

10. Отсутствие в отливках резко выраженной склонности к дендритной и зональной ликвации.

11. Удовлетворительная механическая обрабатываемость отливок.

12. Экономичность:

а) применение легирующих элементов по возможности более распространенных в земной коре, с развитым производством, не дефицитных и не дорогих;

б) использование наиболее совершен-

ных методов изготовления форм, ведения плавки и способов разливки металла, обеспечивающих наименьшее количество брака.

Применительно к решению задачи синтеза лопаточных сплавов стационарных газотурбинных установок, большой интерес представляет структура многослойной нейронной сети (рисунок 1).

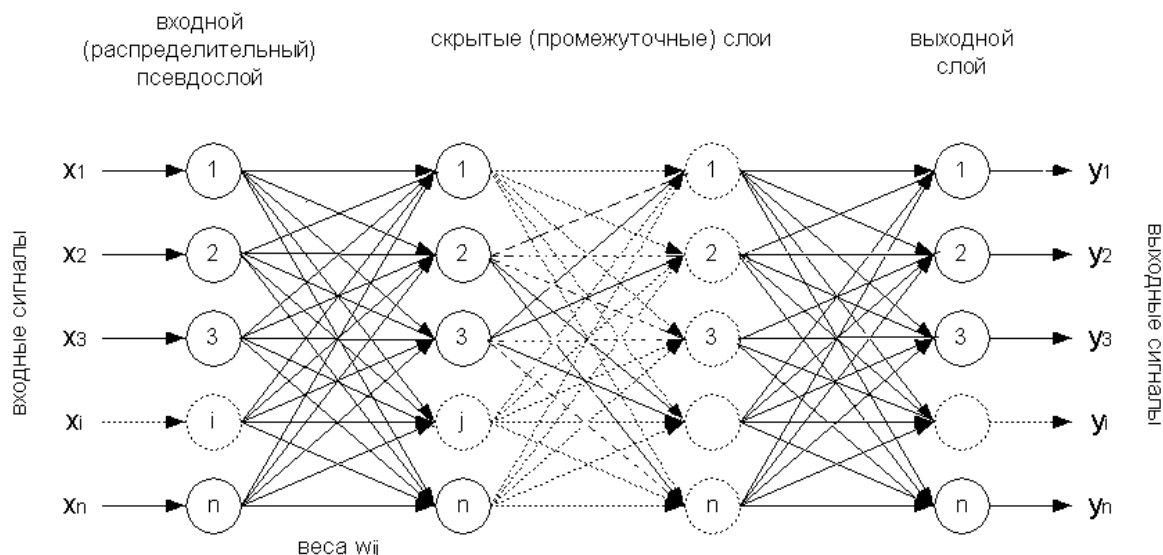


Рисунок 1 – Многослойная нейронная сеть

Где $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$ – исходные данные, представляющие собой химические элементы из периодической системы Менделеева;

$y_1, y_2, y_3, y_4, \dots, y_m$ – механические и жаропрочные свойства сплавов, такие как относительное удлинение (δ), относительное сужение (ψ), временное сопротивление (σ_B), предел длительной прочности при заданной температуре и времени (σ_L).

Под искусственной нейронной сетью (ИНС) понимается набор элементарных преобразователей информации – нейронов, соединённых друг с другом каналами обмена информацией для их совместной работы. ИНС хорошо подходят для распознавания образов и решения задач классификации, оптимизации и прогнозирования.

Наиболее важными свойствами и характеристиками ИНС, определяющими возможность их применения для решения задачи синтеза лопаточных сплавов являются следующие:

- нейронные сети имеют множество входов и выходов и поэтому вполне естественно их применение в задачах обработки инфор-

мации, какой являются данные о составах и свойствах жаропрочных лопаточных сплавов;

- аппроксимирующие свойства ИНС. Обучение сети с использованием данных вход-выход нелинейного объекта, можно рассматривать как задачу аппроксимации многомерной функции, характеризующей нелинейную зависимость «состав-свойство»;

- способность ИНС к обучению и самообучению придает адаптивные свойства системе с ИНС;

- параллельная организация ИНС, выражающаяся в объединении нейронов в слои, приводит к повышению надёжности и гибкости систем на основе ИНС.

Итак, применение ИНС дает ряд преимуществ по сравнению с традиционным подходом к решению таких задач как синтез жаропрочного лопаточного сплава. В отличие от традиционных методов анализа, нейросетевые являются более гибкими, позволяющими одновременно прогнозировать множество зависимых величин с высокой точностью. Полученные нейросетевые модели впоследствии можно дополнять новыми данными, уточняя и расширяя их.