

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА НЕЙРОСЕТЕЙ

А. А. Ганеев, А. И. Мезенцева, Е. Ф. Шайхутдинова
Уфимский государственный авиационный университет,
г. Уфа, Россия

Развитие авиационного двигателестроения во многом определяется созданием новых материалов, применение которых позволяет улучшать важнейшие параметры двигателя. Для достижения максимального КПД современных авиадвигателей постоянно стремятся увеличить рабочую температуру в системе и уменьшить отвод тепла. Следовательно, для этих систем необходимы сплавы, стойкие при высоких (до 1400 °С) температурах. Ресурс работы двигателя в значительной мере определяется работой камеры сгорания, поршня и других деталей, которые в основном изготавливают из литейных алюминиевых жаропрочных сплавов для увеличения мощности и облегчения массы двигателя. Сложность конфигурации деталей, в частности, наличие разнообразных внутренних полостей, делает литье не только экономичным, но и единственно возможным методом их получения. Кроме того, литейные жаропрочные алюминиевые сплавы, состав которых не ограничивается условиями хорошей обрабатываемости при пластической деформации, могут иметь более высокую степень легирования, а, следовательно, и повышенную жаропрочность. В результате достигается их преимущество в жаропрочности примерно на 45...60 % по сравнению с деформируемыми жаропрочными сплавами.

Наиболее распространенные в практике отечественного авиадвигателестроения литейные сплавы АЛ19 и АЛ21 имеют пределы 100-часовой длительной прочности при температуре 1000 °С не более 150...200 МПа, а при температуре более 1000 °С – 80...125 МПа соответственно. Эти свойства уже не удовлетворяют в полной мере современным условиям эксплуатации техники в связи с требованиями значительного увеличения ресурса и повышения рабочей температуры.

Таким образом, проблема разработки новых методик автоматизированного проектирования жаропрочных материалов в настоящее время достаточно актуальна. В первую очередь это связано с необходимостью

существенного уменьшения сроков проектирования и материальных затрат, обусловленных проведением большого числа опытных плавов, невысокой эффективностью большинства существующих методов проектирования новых сплавов, которые не позволяют определять прямую связь между составом и жаропрочностью сплавов.

В данной статье рассмотрен метод проектирования жаропрочных алюминиевых сплавов основанный на использовании достижений компьютерной техники, в частности аппарата нейронных сетей. Нейросетевые методы являются гибким, универсальным адаптивным инструментом, достаточно простым в понимании и применении. Предлагаемый подход к разработке новых сплавов базируется на концепции пассивного эксперимента, призван ускорить процесс разработки новых материалов, сделать его результаты более предсказуемыми, ограничить экспериментальную часть исследований лишь проведением контрольных плавов.

Для проектирования жаропрочных алюминиевых сплавов с использованием метода нейронных сетей необходимо решить следующие задачи:

1. Разработка базы данных, содержащей информацию о составе, механических и жаропрочных свойствах литейных алюминиевых сплавов, и информационно-поисковой системы к базе данных.
2. Разработка метода восстановления недостающей информации в базе данных о свойствах литейных жаропрочных алюминиевых сплавов.
3. Определение диапазонов концентраций легирующих элементов, обеспечивающих максимум жаропрочности литейных алюминиевых сплавов на основе обобщения статистической информации из базы данных.
4. Построение математических моделей влияния составов литейных жаропрочных алюминиевых сплавов на их жаропрочность, используя априорную информацию в качестве данных пассивного эксперимента, и программная реализация алгоритмов расчета с

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА НЕЙРОСЕТЕЙ

использованием метода искусственных нейронных сетей.

5. Разработка системы автоматизированного проектирования жаропрочных алюминиевых сплавов.

На данный момент, не существует полной и отработанной информации по жаропрочным алюминиевым сплавам (ЖАС).

Научный и практический эффект от информации по свойствам ЖАС будет во многом определяться видом ее представления. Очевидно, что наиболее удобная форма

представления информации создается при использовании компьютерных информационных систем. Данная информация может использоваться для различного рода расчетов, трудновыполнимых без применения ЭВМ.

Разработка базы данных (БД) производилась на основе собранного на естественном языке банка данных по отечественным и зарубежным ЖАС по февраль 2009 г. Разработанная БД учитывает специфику материалов, применяемых в авиастроении. Структура БД представлена на рисунок 1.

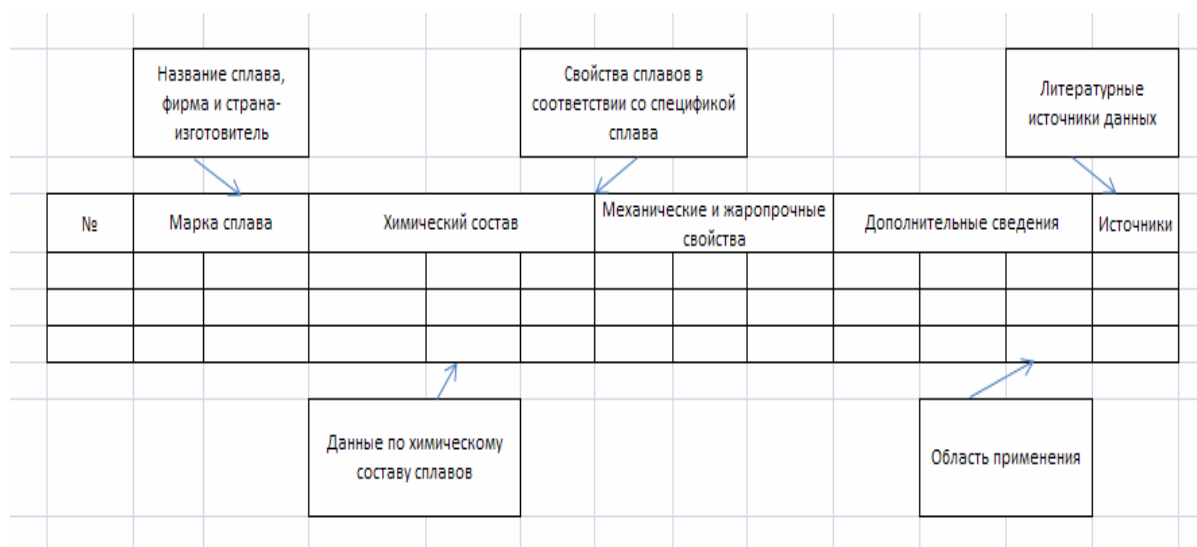


Рисунок 1 – Структура БД

На основе реализованной БД проведены статистические исследования с целью построения математической модели сплава для выяснения влияния легирующих элементов на физико-химические свойства сплавов, для обучения нейронных сетей и предварительной проверки в других математических пакетах ЭВМ.

В данной статье рассматривается решение задачи прогнозирования максимальной жаропрочности ЖАС с использованием экспертных рекомендаций, получаемых от нейронных сетей, обученных на соответствующей базе данных.

Для проектирования ЖАС выбрана нейросеть с иерархической сетевой структурой (рисунок 2), в которой связанные между собой нейроны (узлы сети) объединены в несколько слоев. Межнейронные синаптические связи сети устроены таким образом, что каждый нейрон на данном уровне иерархии принимает и обрабатывает сигналы от каждого нейрона более низкого уровня. Таким образом, в данной сети имеется выделенное на-

правление распространения нейроимпульсов - от входного слоя через один (или несколько) скрытых слоев к выходному слою нейронов. Нейронная сеть такой топологии называют обобщенным многослойным персептроном.

Персептрон представляет собой сеть, состоящую из нескольких последовательно соединенных слоев формальных нейронов МакКаллока и Питтса. На низшем уровне иерархии находится входной слой, состоящий из сенсорных элементов, задачей которого является только прием и распространение по сети входной информации о концентрациях легирующих элементов (ЛЭ). Далее имеются один или несколько скрытых слоев. Каждый нейрон на скрытом слое имеет несколько входов, соединенных с выходами нейронов предыдущего слоя или непосредственно с входными сенсорами $X_1 \dots X_n$, и один выход. Синапс нейронов характеризуется уникальным вектором весовых коэффициентов w , веса всех нейронов слоя формируют матрицу $- W_{ij}$, где i – номер входного нейрона, j – элементы скрытого слоя.

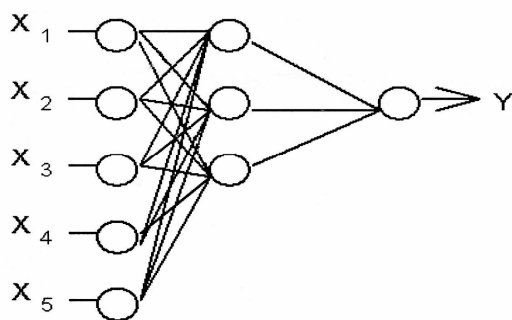


Рисунок 2 – Структура многослойного персептрона с пятью входами, тремя нейронами в скрытом слое, и одним нейроном выходного слоя

Функция нейрона состоит в вычислении взвешенной суммы его входов с дальнейшим нелинейным преобразованием ее в выходной сигнал:

$$y_j = \left(1 + \exp \left[- \sum_{i=1}^N W_{ij} x_i \right] \right)^{-1}, \quad (1)$$

Выходы нейронов последнего, выходного, слоя описывают результат вычисления $Y=Y(X)$.

Традиционно рассматривается аналоговая логика, при которой допустимые состояния синаптических связей определяются произвольными действительными числами, а степени активности нейронов - действительными числами между 0 и 1. Иногда исследуются также модели с дискретной арифметикой, в которой синапс характеризуется двумя булевыми переменными: активностью (0 или 1) и полярностью (-1 или +1), что соответствует трехзначной логике. Состояния нейронов могут при этом описываться одной булевой переменной. Данный дискретный подход делает

конфигурационное пространство состояний нейронной сети конечным (не говоря уже о преимуществах при аппаратной реализации).

Однако в связи с ограниченностью дискретных нейросетей, сложным механизмом легирования ЖАС, принимается классический вариант многослойной сети с аналоговыми синапсами и сигмоидальной передаточной функцией нейронов, определяемой формулой (1).

Для обучения многослойной нейросети используем алгоритм обратного распространения ошибок (error back propagation).

Основная идея обратного распространения состоит в том, как получить оценку ошибки для нейронов скрытых слоев. Известные ошибки в прогнозировании предела текучести, делаемые нейронами выходного слоя, возникают вследствие неизвестных пока ошибок нейронов скрытых слоев. Чем больше значение синаптической связи между нейроном скрытого слоя и выходным нейроном, тем сильнее ошибка первого влияет на ошибку второго. Следовательно, оценку ошибки элементов скрытых слоев можно получить, как взвешенную сумму ошибок последующих слоев. При обучении информация распространяется от низших слоев иерархии к высшим, а оценки ошибок, делаемые сетью – в обратном направлении.

После обучения нейронной сети было проведено ее тестирование на тестовой выборке сплавов, не вошедших в обучающую выборку для определения точности решения.

Оценки показывают, что использование метода моделирования жаропрочных алюминиевых сплавов с помощью аппарата нейронных сетей позволяет в 4-5 раз сократить сроки разработки новых многокомпонентных материалов: снизить в 20-30 раз трудозатраты на разработку новых материалов: сэкономить в 5-10 раз дефицитные и дорогостоящие материалы.