

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛЕЙ

Маминов А.С., Семенов Л.Н., Максимов С.В.

*Казанский государственный технический университет
420111 Казань, ул.К.Маркса, 10
E-mail: root @ kaiadm.kazan.su*

АННОТАЦИЯ. В работе приводятся экспериментально-теоретические результаты выбора оптимальных параметров газовой цементации и режимов термической обработки высоколегированных цементуемых сталей. Показывается возможность оптимизации этого процесса на ПЭВМ. Приводится оценка сходимости расчетных и экспериментальных данных.

Одним из методов снижения металлоемкости элементов конструкций и улучшения весовых характеристик летательных аппаратов является рациональный выбор сталей, в том числе для деталей, подвергаемых цементации. К таким деталям предъявляются высокие требования по сопротивлению переменным нагрузкам сердцевины, твердости и износостойкости поверхности. Традиционно применяемые легированные стали по многим параметрам не удовлетворяют возросшим к ним требованиям из-за сложности нейтрализации остаточного аустенита в цементированном слое, высокой его хрупкости при значительных контактных напряжениях, недостаточной теплостойкости и т.д. В работе анализируется возможность замены их сталями, дополнительно легированными Mo, W, V с теплостойкостью до 400°C. Так как качество цементированного слоя определяется высокой износостойкостью поверхности и сопротивлением переменным нагрузкам сердцевины, в работе приводятся экспериментальные методики и результаты выбора оптимальных параметров цементации и термической обработки высоколегированных теплоустойчивых сталей. Комплексным изуче-

нием характеристик цементованного слоя исследованных сталей установлено, что если кривая содержания углерода выпуклая с площадкой у поверхности, то цементированный слой при прочих равных условиях (твердость поверхности, глубина слоя) будет иметь лучшие показатели сопротивления износу и переменным изгибным нагрузкам. Установлено, что для сохранения высокой твердости при повышенных температурах необходимо высокое содержание углерода в карбидах, а для обеспечения лучшего сопротивления усталости - высокое содержание углерода в твердом растворе. Исследованиями выбраны оптимальные микроструктуры цементированного слоя, минимизировано количество остаточного аустенита путем изменения состава эндогаза и подбора режима термообработки. Полученные оптимизированные параметры могут быть использованы для составления технологии процесса цементации аналогичных сталей.

В современной технической литературе недостаточно полно освещен опыт проведения цементации легированных сталей. В этой связи была разработана универсальная программа для ЭВМ, позволяющая смоделировать процесс цементации. В основу программы положено решение уравнения в частных производных второго порядка (параболического типа), которое имеет вид:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{d^2c}{dx^2},$$

где c - концентрация, t - время; x - глубина (расстояние от поверхности); Q - энергия активации; T - температура; k - постоянная Больцмана; D_0 - постоянная; $D = D_0 \cdot \exp(-Q/kT)$ - коэффициент диффузии.

Для решения приведенного выше уравнения был применен метод конечных разностей. Суть метода заключается в переходе от функции непрерывного изменения аргумента к функции дискретного изменения. Разностный метод решений обладает большой универсальностью.

Основной частью программы является главный модуль, который производит инициализацию программы, ввод данных, необходимых для вычислений, вычисления, анализ результатов и вывод на экран этих результатов. Главный модуль при своей работе вызывает рабочие процедуры, которые, в свою очередь, выполняют необходимые действия. Для рабочих процедур необходимы инструментальные процедуры. Рабочие процедуры обращаются к инструментальным процедурам, которые выполняют различные элементарные действия (ввод числа, вывод на экран и т.п.). Программа имеет древовидную структуру. При запуске программа выполняет запрос начальных данных. Необходимо ввести пределы изменения температуры и содержания углерода в карбюризаторе, необходимую глубину цементации, содержания углерода на поверхности. Далее программа производит вычисления, наглядно демонстрируя процесс на экране, производит анализ полученных данных, переводит условные единицы исчисления в физические и отображает графики изменения параметров (температуры и % углерода) в функции времени и распределение углерода по глубине. Таким образом, математическая модель позволяет определить распределение концентрации углерода по сечению деталей и время процесса, необходимое для достижения заданной глубины цементированного слоя. С помощью математической модели можно выбрать оптимальные параметры с целью сокращения времени процесса цементации, повышения качества цементированного слоя и снижения процента отбраковки.

Ниже приводятся данные сходимости результатов моделирования цементации с экспериментальными данными для цементуемой стали 12Х2Н4А.

Время выдержки, час,	Глубина слоя, мм	Экспериментальное значение глубины слоя, мм	Относительная погрешность, %
1	0,49	0,50	-2
3	0,84	0,90	-6,6
5	1,10	1,10	0
7	1,30	1,35	-3,7
10	1,55	1,60	-3,5

Можно видеть, что расчетные данные отличаются от экспериментальных не более, чем на 6,6%. Данная модель в виде демонстрационной может быть использована в учебном процессе.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ШТАМПОВОК ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПЛАСТИЧНОСТИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ

Муратаев Ф.И., Ганиев М.М.

Казанский государственный технический университет
420111 Казань, ул. К.Маркса, 10
E-mail: root @ kaiadm.kazan.su

АННОТАЦИЯ. Предлагается методика, апробированная на примере выбора материала и обоснования технологии штамповки дисков на основе расчетов предельной пластичности при двухосном нагружении и построения кривых нормируемой повреждаемости применительно к условиям работы деталей в условиях сложного периодического нагружения.

При анализе характеристик предельной пластичности штамповок ВТ22 в условиях плоской деформации применяются известные функции пластичности, представленные в форме, приемлемой для выражения условий двухосного нагруженного состояния:

- критерий максимальных касательных напряжений

$$\varepsilon_e = \varepsilon_i (1 - \eta_3) / \eta_i, \quad (1)$$

где $\eta_i = \sqrt{1 - \eta + \eta^2}$;

- критерий энергии формоизменения

$$\varepsilon_e = \varepsilon_i; \quad (2)$$