

УДК 621:620.1:539.494

ПРИМЕНЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВЫБОРЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Шакуров Н.Г.

Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Октябрьском, e-mail: ShakurovN.G.@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы выбора конструкционных материалов с учетом жизненного цикла продукции. Является важным учитывать изменения в структуре, составе, свойствах конструкционного материала за время хранения и эксплуатации и возможность образования дополнительных отклонений в размерах и форме деталей машин с течением времени.

Ключевые слова: равновесная структура, уравнение долговечности, ресурс материала, старение сплавов

Конструкционные материалы, применяемые для производства машин и оборудования могут быть условно разделены на два класса:

1. материалы, имеющие равновесную структура и при постоянных условиях эксплуатации имеющие стабильные физико-механические свойства;
2. материалы, получившие в результате технологических воздействий неравновесную структуру и изменяющие в течение времени строение, структуру, состав и свойства.

Можно отметить, что основная часть материалов машин и оборудования относится ко второму классу и поэтому для обеспечения надежности необходимо при проектировании учесть не только первоначальный уровень показателей прочности, относительного удлинения, упругости, ударной вязкости материалов достигнутый при выпуске машины, но и кинетические характеристики, отражающие степень изменения этих свойств за время жизненного цикла изделия.

Основное уравнение долговечности, определяющие зависимость между ресурсом материала τ_p , уровнем напряжения σ и температурой T , имеет вид [1]:

$$\tau_p = \tau_0 \cdot e^{\frac{-w_0 - \gamma\sigma}{RT}}, \quad (1)$$

где R – универсальная газовая постоянная;

τ_0 – параметр совпадающей по значению с периодом собственных тепловых колебаний атомов в кристаллической решетке, равным $10^{-12} \div 10^{-14}$ с ;

w_0 – начальная энергия активации процесса разрушения при $\sigma = 0$;

γ – характеристика чувствительности материала к напряжению;

T – температура;

σ – напряжение;

τ_p – наработка до отказа (до разрушения).

Из формулы (1) видно, что основными факторами, влияющими на ресурс материала является напряжения и температура. Вместе с тем, эксперименты показывают, что в процессе эксплуатации, примерно в одинаковых условиях, предел прочности σ_e стали 15ХМФЛ за $1,08 \cdot 10^5$ часов снизился на 20 %, у стали 25ХМФ за этот же период времени σ_e снизился почти на 10 %. Поэтому, при определении ресурса τ_p , может быть целесообразно, вместо параметров w_0 , γ формулы (1) использовать w_{np} , γ_{np} – их приведенные значения, учитывающие степень изменения свойств материала.

Можно считать, что изменение ресурса материала под нагрузкой в течение длительного времени является универсальным свойством. В работе [2] приведены результаты экспериментов по исследованию зависимости разрушающих напряжений от времени для полимерных материалов, из которых видно, что за период нагружения в 10^4 часов (что более чем в 10 раз ниже чем для металлических материалов) прочность отдельных видов снизилась почти в 2 раза, при температуре испытания 20 °С.

А при повышении температуры испытания до 60 °С прочность полиэтилена за период нагружения в 10^4 часов снизилась более чем 4 раза.

Учитывая, что степень снижения уровня прочности у различных материалов неодинаковая, предлагается при выборе материала для изготовления элементов конструкции равной надежности, проводить анализ характеристик изменения свойств, определяющих работоспособность изделия.

В практике инженерных расчетов используются понятие длительной прочности [3]. Под пределом длительной прочности понимается напряжение, вызывающее разрушение за заданное время при данной температуре. Для исключения разрушения материала при длительной эксплуатации при проектировании устанавливается запас прочности, который предопределяет, что показатель эксплуатационной прочности материала будет выше напряжений, возникающих в детали за время жизненного цикла изделия. Иначе говоря, запас прочности должен учитывать уровень напряжения, условия и срок эксплуатации изделия, при изменениях происходящих в материалах детали.

Процессы изменения свойств и структуры металлов и сплавов называются старением. К основным видам изменения структуры материала в твердом состоянии при старении относят: фазовые переходы, мартенситное превращение и распад мартенситной структуры, растворение компонентов в твердом состоянии и распад пересыщенных твердых растворов, образование твердых растворов из эвтектоидной смеси.

Исследования показывают, что старение материала детали может привести как к улучшению механических свойств и повышению надежности материала, так и снижению показателей прочности, ударной вязкости упругости и других свойств. Поэтому, зависимости, описывающие изменения свойств конструкцион-

ных материалов и определяющие длительную прочность, должны быть получены с учетом экспериментальных данных, соответствующих условиям эксплуатации

Для решения задач обеспечения качества машин, одним из направлений требующих дальнейших исследований, является анализ изучения геометрической формы и размеров деталей машин деформации (коробление элементов конструкции) за время их производства и эксплуатации.

Например, чтобы увеличить предел упругости материала при кручении, при изготовлении пружин, их подвергают термической обработке для снятия остаточных напряжений.

В результате термообработки у пружин изготовленных из стали содержащей до 1 % С и от 0,2 до 0,6 Мп изменяется размер (уменьшается диаметр) и пружина становится более жесткой, и в то же время пружины, изготовленные из коррозионно-стойкой стали, после термообработки имеют тенденцию к раскручиванию [4].

Остаточные напряжения в материале могут образовываться в результате изменения структуры из-за различия в форме, плотности и объеме фаз и матрицы. Например, превращение аустенита в мартенсит сопровождается увеличением объема, и если в результате термической обработки процесс перехода аустенитной фазы в мартенсит в центральной части может привести к образованию растягивающих напряжений на поверхности детали, которые могут способствовать образованию трещин.

Экспериментально установлено, что механизм распада мартенсита включает три вида превращений: первое превращение это двухфазный распад и выделение карбидов из мартенсита; второе превращение это превращение остаточного аустенита; третье превращение это коагуляция карбидов и снижение внутренних напряжений. При этом следует отметить, что распад мартенсита уже сопровождается уменьшением объема материала и также может привести к образованию внутренних напряжений.

Если в условиях эксплуатации возможно воздействие окисляющей атмосферы, то на поверхности деталей из стали могут наблюдаться процессы обезуглероживания, которые приводят к уменьшению объема поверхностного слоя и возникновению напряжений растяжения и снижению прочности материала детали.

На характер изменения форм и размеров детали может оказать влияние технологическая наследственность, т.е. последствия технологий, применявшихся для изготовления.носителем наследственной технологической информации является собственно материал детали. Одним из примеров технологической последовательности является «память формы», выражающаяся в восстановлении формы и размеров деформированной детали в результате последующего нагрева.

К изменению формы и размеров детали также может привести деформация ползучести, величина которой зависит от механических и кинетических характе-

ристик материала, а также от уровня напряжения, температуры и периода нагружения.

Таким образом, можно считать, что под действием факторов могут увеличиваться отклонения форм и размеров детали, допустимая величина которых устанавливается при проектировании изделия.

В результате нестабильности материала в течение его эксплуатации возможно образование в деталях машин, нормируемых стандартами, дополнительных отклонений: от прямолинейности, от плоскостности, от круглости, от цилиндричности, профиля продольного сечения, от параллельности, от перпендикулярности, от соосности наклона, от пересечения осей. Учет данных отклонений необходим при оценке качества долговечности и ремонтпригодности машин.

В общем виде зависимость для расчета отклонений формы и размеров D может представлена в виде

$$D = \Delta \phi + kf(\tau), \quad (2)$$

где $\Delta \phi$ – фактические отклонения;

$kf(\tau)$ – изменения форм и размеров деталей за время хранения и эксплуатации изделия.

Выявление кинетических характеристик материала, определяющих изменение формы и размеров, очень важно при изготовлении корпусов, станин, а также сварных конструкций, к точности которых установлены достаточно высокие требования.

В работе [2] для описания кинетических характеристик материала предлагается применять энтропийный критерий, используемый в термодинамике необратимых процессов. В частности, применение энтропийного критерия длительной прочности обосновывается на подобии процессов плавления и разрушения материала. Применение энтропийного критерия для оценки изменения свойств требует дальнейших исследований.

Учитывая сложность механизма превращений, происходящих в различных материалах в течение длительного времени, следует ожидать, что кинетические характеристики будут описываться различными моделями и критериями, определяющими степень изменения материала.

Выводы

С увеличением срока служб машин оборудования, металлических конструкций возникает необходимость определять степень изменения структуры, свойств материалов, формы и размеров деталей. Дополнение показателей и свойств отклонениями кинетических характеристик, отражающими степень изменений, позволили бы оценить качество изделия в течении всего жизненного цикла. Определение кинетических характеристик является достаточно сложной задачей, требующей расширения экспериментальных и теоретических исследований,

так как на их значения оказывают влияния строение материала, его физико-механические свойства, технологическая наследственность и условия эксплуатации изделия.

Литература

1. Кубарев А.И. Надежность в машиностроении. 2-е изд. М.: Издательство стандартов, 1989. 224 с.
2. Испытание материалов: справочник / Под ред. Х. Блюменауэра. М.: Металлургия, 1979. 447 с.
3. Гольденблат И.И., Бажанов В.Л., Конов В.А. Длительная прочность в машиностроении. М.: Машиностроение, 1977. 248 с.
4. Макклиток Ф., Аргон А. и др. Деформация и разрушение материалов. М.: Мир, 1970. 443 с.
5. Петров В.А. Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов. М.: Машиностроение, 1993. 297 с.

APPLICATION OF KINETIC PARAMETERS FOR CONSTRUCTIONAL MATERIALS SELECTION

N.G. Shakurov

*Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technical University, Oktyabrsky, Russia
e-mail: Shakurov N.G.@mail.ru*

Abstract. *This article describes the issues of constructional materials' selection according to the product life cycle. It is important to consider the changes of structure, composition and constructional material properties during storage and operation. For the machine parts should also be taken into account the possibility of the additional size and shape deviations in time.*

Keywords: *equilibrium structure, durability equation, material life-cycle, alloy aging*

References

1. Kubarev A.I. Nadezhnost' v mashinostroenii (Reliability in mechanical engineering). 2 ed. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1989. 224 p.
2. Ispytanie materialov: spravochnik (Testing of materials: Handbook). Moscow, Metallurgiya, 1979. 447 p.
3. Gol'denblat I.I., Bazhanov V.L., Konov V.A. Dlitel'naya prochnost' v mashinostroenii (Long-term strength in engineerin). Moscow, Mashinostroenie, 1977. 248 p.
4. Makklintok F., Argon A. Deformatsiya i razrushenie materialov. Moscow, Mir, 1970. 443 p. (Transl. from: Mechanical behaviour of materials. Ed.: F.A. McClintock, A.S. Argon. Longman Higher Education, 1966. 770 p.)
5. Petrov V.A. Fizicheskie osnovy prognozirovaniya dolgovechnosti konstruktsionnykh materialov (Physical fundamentals of forecasting the longevity of structural materials). Moscow, Mashinostroenie, 1993. 297 p.