

Температурный коэффициент как показатель оценки поведения материалов в условиях изменения температур

Студент группы 10405521 Мардашов Н. А.

Научный руководитель – Корнеева Е. К.

Белорусский национальный технический университет
Республика Беларусь, г. Минск

Важным параметром, который описывает изменение физических свойств материалов в зависимости от температуры, является температурный коэффициент. В металловедении и физике металлов температурные коэффициенты играют ключевую роль при оценке поведения материалов в условиях повышенных и пониженных температур, что имеет практическое значение в различных отраслях промышленности, таких как машиностроение, авиастроение и энергетика.

Среди основных температурных коэффициентов, используемых на практике, можно выделить температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) и температурный коэффициент электрического сопротивления (ТКЭС). Эти показатели характеризуют, соответственно, изменение размеров материала и его электрических свойств при изменении температуры. Важность их анализа обусловлена необходимостью прогнозирования изменений геометрических и электрических параметров металлических изделий при эксплуатации в различных температурных условиях.

Температурный коэффициент линейного расширения характеризует способность металлов и сплавов изменять свои линейные размеры при изменении температуры. Его расчет основан на зависимости:

$$\alpha = \frac{1\Delta L}{L\Delta T},$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения, L – первоначальная длина образца, ΔL – изменение длины, ΔT – изменение температуры.

Для металлов характерно положительное значение ТКЛР, что связано с увеличением средней амплитуды колебаний атомов в кристаллической решетке при повышении температуры. Например, для железа температурный коэффициент линейного расширения при комнатной температуре составляет около $11,8 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, для алюминия – $23 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Это значит, что алюминий в большей степени подвержен тепловому расширению по сравнению с железом, что важно учитывать при создании конструкций, работающих в условиях колебаний температуры.

Температурный коэффициент электрического сопротивления (α_T), в свою очередь, описывает изменение электрического сопротивления материала с изменением температуры. Для большинства металлов и сплавов имеет положительное значение, что связано с увеличением числа столкновений электронов с атомами кристаллической решетки при повышении температуры. Например, для меди α_T составляет около $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, для алюминия – $4,0 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Важно отметить, что для некоторых сплавов, таких как манганин, температурный коэффициент сопротивления может быть близок к нулю или даже отрицательным, что делает их полезными для применения в точных измерительных приборах, где необходимо минимизировать влияние температуры.

Изучение температурных коэффициентов позволяет не только понимать изменения физических свойств металлов, но и прогнозировать их поведение в реальных эксплуатационных условиях. Например, в условиях низких температур (криогенных) поведение металлов может изменяться существенно. Так, при понижении температуры сопротивление большинства чистых металлов снижается, а для некоторых сплавов возможно наступление сверхпроводимости – явления, при котором электрическое сопротивление падает до нуля.

Далее, следует отметить, что температурные коэффициенты зависят не только от химического состава металлов и сплавов, но и от их структуры, а также от наличия дефектов кристаллической решетки, таких как дислокации и примеси. Примеси могут существенно влиять на температурный коэффициент электрического сопротивления, увеличивая его за счет создания дополнительных центров рассеяния электронов. Например, добавление в медь небольшого количества никеля приводит к значительному увеличению температурного коэффициента электрического сопротивления.

Важным аспектом анализа температурных коэффициентов является учет их изменений при фазовых превращениях. Например, в случае железа при температуре 768 °С (точка Кюри) происходит фазовый переход из ферромагнитного состояния в парамагнитное, что сопровождается резким изменением ТКЛР.

Температурный коэффициент прочности и пластичности – еще один значимый параметр, который отражает изменение механических свойств металлов при изменении температуры. Прочностные характеристики, такие как предел текучести и временное сопротивление, изменяются при повышении или понижении температуры. Как правило, при повышении температуры прочностные характеристики большинства металлов снижаются, а пластичность, напротив, возрастает. Это объясняется увеличением подвижности атомов и дислокаций в кристаллической решетке.

Для низкоуглеродистой стали, применяемой в строительстве, повышение температуры свыше 400 °С может приводить к снижению предела текучести более чем на 50%, что необходимо учитывать при проектировании конструкций, подвергающихся высоким температурным воздействиям, например, в случаях пожаров или работы в агрессивных средах. В то же время в области низких температур (от -50 °С и ниже) большинство сталей склонны к охрупчиванию, что проявляется в резком снижении ударной вязкости. Это обусловлено ограниченной подвижностью дислокаций и повышенной склонностью к разрушению по межкристаллитным границам.

Одним из примеров применения температурных коэффициентов является их учет при разработке и эксплуатации элементов, подверженных тепловому воздействию. В автомобильной промышленности и машиностроении используется расчет температурных деформаций компонентов двигателя, таких как поршни и валы. Поскольку рабочая температура двигателя может превышать 200 °С, важно предвидеть изменения размеров деталей, чтобы избежать заклинивания и обеспечить необходимый зазор для смазочного материала. Подобные расчеты позволяют выбирать материалы с подходящими значениями температурных коэффициентов линейного расширения и обеспечивать надежную работу двигателя в широком диапазоне температур.

При создании сплавов температурные коэффициенты могут существенно отличаться от таковых для чистых металлов, из которых они состоят. Например, при легировании стали элементами, такими как никель и хром, можно снизить температурный коэффициент линейного расширения, что делает такие стали предпочтительными для использования в условиях высоких температур, например, в газовых турбинах. Сплавы с низким ТКЛР, такие как железо-никелевые (с содержанием никеля около 36%), обладают минимальными изменениями размеров при изменении температуры и находят применение в точных приборах, таких как часы и телескопы [1–5].

Список использованных источников

1. Гуляев, А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – Москва: Металлургия, 1986. – 512 с.
2. Кудрин, В. А. Металловедение : учебник для вузов / В. А. Кудрин. – Москва: Высшая школа, 1978. – 432 с.
3. Симонов, В. П. Физические основы термической обработки металлов / В. П. Симонов. – Москва: Металлургия, 1974. – 398 с.

4. Боровиков, А. И., Кочергин, А. Н. Термическое расширение и температурные коэффициенты металлов и сплавов / А. И. Боровиков, А. Н. Кочергин. – Москва: Наука, 1985. – 278 с.

5. Журавлёв, В. Ф., Орлов, Ю. А. Температурные коэффициенты электрического сопротивления металлов / В. Ф Журавлёв, Ю. А. Орлов. – Москва: Энергия, 1980. – 256 с.