

и низкие темп-ры, является сравнение их с характерным для каждого данного вещества параметром — т. н. характеристической или *Дебая температурой* θ_D . Эта величина определяется спектром колебания атомов в теле и тем самым существенно зависит от его кристаллич. структуры (см. *Колебания кристаллической решётки*). Обычно θ_D — величина порядка неск. сотен К, но может достигать (напр., у алмаза) и тысяч К.

У металлов определ. вклад в T дают также и электроны проводимости (см. *Электронная теплоёмкость*). Эта часть T может быть вычислена с помощью Ферми — Дирака статистики, к-рой подчиняются электроны. Электронная T металла пропорц. T . Она представляет собой, однако, сравнительно малую величину, её вклад в T металла становится существенным лишь при темп-рах, близких к абс. нулю (порядка неск. К), когда решёточная T ($\sim T^3$) становится пренебрежимо малой. У кристаллич. тел с упорядоченным расположением спиновых магн. моментов атомов (ферро- и антиферромагнетиков) существует дополнит. магн. составляющая T . При темп-ре фазового перехода в парамагн. состояние (в *Кюри точке* или соответственно *Нееля точке*) эта составляющая T испытывает резкий подъём — наблюдается «пик» T , что является характерной особенностью фазовых переходов 2-го рода.

Лит.: Лавада Л. Д., Лифшиц Е. М., Статистическая физика, 3 изд., ч. 1, М., 1976; Таблицы физических величин. Справочник, под ред. И. К. Кикоина, М., 1976.

Е. М. Лифшиц.

ТЕПЛОЗАЩИТА — средство для обеспечения нормально-го температурного режима в установках и аппаратах, работающих в условиях подвода к поверхности значит. тепловых потоков ($q \gg 10$ Вт/см²), когда применение простой теплоизоляции становится невозможным.

Методы T . 1. Конвективное охлаждение — подходящие к тонкой металлич. обшивке тепловые потоки отводятся в охлаждающую жидкость или газ, к-рые протекают с другой стороны обшивки.

2. Заградит. охлаждение — через отверстие или щель вблизи охлаждаемой поверхности в направлении потока подаётся струя холодного газа. Заградит. эффект струи уменьшается по мере её перемешивания с горячим газом.

3. Плёночное охлаждение — аналогично заградит. охлаждению, с той разницей, что через щель или отверстие подаётся жидкий охладитель, образующий на охлаждаемой поверхности защитную плёнку. Защитный эффект уменьшается по мере испарения плёнки и её разбрызгивания.

4. Пористое охлаждение — жидкий или газообразный охладитель подаётся через пористую или перфорированную поверхность аппарата. При охлаждении жидкостью расход её подбирается т. о., чтобы жидкость испарялась внутри пор.

5. T с помощью теплопоглощающей оболочки — подходящее к поверхности тепло поглощается за счёт теплоёмкости достаточно толстой оболочки при повышении темп-ры последней. Большой эффект достигается при дополнит. использовании теплоты плавления и нагревания жидкой фазы материала, а также теплоты хим. разложения. Однако в этих случаях необходимо заключать теплопоглотитель в жёсткую металлич. оболочку.

6. Отвод тепла радиацией — проблема T решается посредством создания материала, выдерживающего высокую темп-ру, при к-рой всё подводимое тепло может излучаться в пространство; при этом, согласно *Стефана — Больцмана закону излучения*, излучаемый поверхностью тепловой поток $q_{\text{рл}} = \epsilon \sigma_0 T_w^4$, где ϵ — суммарная испускат. способность внеш. покрытия, σ_0 — постоянная Стефана, а T_w — абс. темп-ра поверхности. Сложность практич. применения данного метода T связана с тем, что при высокой темп-ре металлы, из к-рых изготавливается излучающая оболочка, окисляются кислородом воздуха. Для борьбы с окислением внеш. поверхность 2 (рис. 1) покрывается тонким слоем покрытия 1, устойчивого к окислению. Между излучающей поверхностью и частями конструкции 4 помещается лёгкая изоляция 3. Этот способ может применяться лишь для T внеш. поверхностей аппаратов.

7. T с помощью разрушающихся (уносимых) покрытий осуществляется за счёт поглощения большого кол-ва тепла

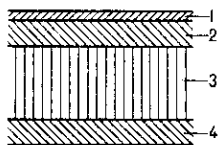


Рис. 1.

в процессе уноса массы этих покрытий. Поглощаемое тепло идёт на нагрев материала, а также на разл. фазовые и хим. превращения.

При применении методов 4 и 7, а также частично методов 2 и 3 возникает дополнит. заградит. эффект в результате вдува газообразного охладителя в пограничный слой, что приводит к снижению подходящего к поверхности теплового потока. При не слишком больших расходах газообразного охладителя G_v снижение теплового потока $q = q_0 - \beta(I_{00} - I_w)G_v$, где q_0 — тепловой поток к непроницаемой поверхности, I_{00} — энthalпия торможения, а I_w — энthalпия внеш. газа при темп-ре стенки. Коэф. вдува $\beta = a(M_e/M_p)^b$, где M_e и M_p — молекулярные веса внеш. и вдуваемого газов, причём коэф. a и b зависят от геометрии тела и режима течения в пограничном слое (ламинарный или турбулентный).

Метод T с помощью разрушающихся покрытий — пассивный и поэтому обладает повыш. надёжностью по сравнению с активными методами T , для к-рых требуются спец. системы подачи охладителя по заданной программе. Эффективность разрушающихся теплозащитных покрытий измеряется т. н. эфф. энthalпией $I_{\text{эф}} = q_0/G$ (где G — масса, уносимая с единицы поверхности в единицу времени), характеризующей кол-во тепла, необходимое для уноса единицы массы материала.

Разрушающиеся теплозащитные покрытия подразделяются на классы в соответствии с механизмом разрушения. а) Плавящиеся покрытия — разрушаются в результате перехода материала из твёрдого состояния в жидкое. Образующаяся на поверхности материала плёнка расплава может частично или полностью переходить в газообразное состояние. Кристаллич. материалы (напр., металлы) характеризуются наличием фиксированной темп-ры плавления и сравнительно малой вязкостью расплава. Жидкая плёнка на поверхности этих материалов имеет незначит. толщину и почти не перегревается, из-за чего расплав практически не испаряется. Аморфные (стеклообразные) материалы при нагревании постепенно переходят из твёрдого состояния в жидкое в связи с тем, что их вязкость представляет собой экспоненциальную ф-цию темп-ры $\mu = \exp(C_1/T + C_2)$, где C_1 и C_2 — постоянные. Жидкая плёнка на их поверхности обладает большой вязкостью, благодаря чему доля испарения ψ в нек-рых случаях может приближаться к единице. $I_{\text{эф}}$ плавящихся покрытий равна: $I_{\text{эф}} = c(T - T_0) + r + \psi [I + \beta(I_{00} - I_w)]$, где c — уд. теплоёмкость материала, r и I — соответственно скрытые теплоты плавления и испарения (для аморфных материалов $r = 0$), T_0 — темп-ра непрогретого материала. б) Сублимирующие покрытия — разрушаются в результате фазового перехода из твёрдого состояния непосредственно в газообразное — сублимации. $I_{\text{эф}}$ таких покрытий равна: $I_{\text{эф}} = c(T_w - T_0) + l + \beta(I_{00} - I_w)$. Темп-ра поверхности T_w заранее не известна и определяется из совместного решения ур-ния баланса энергии на поверхности и ур-ния Кнудсена — Ленгмюра для скорости сублимации. в) Разлагающиеся покрытия — разрушаются в результате хим. реакции термич. разложения. Для них $I_{\text{эф}}$ рассчитывается по той же ф-ле, что и для сублимирующих покрытий, с заменой скрытой теплоты испарения на тепловой эффект реакции разложения. Для определения темп-ры поверхности совместно рассматриваются ур-ние баланса энергии и кинетич. ур-ние реакции термич. разложения. Пример разлагающихся покрытий — термопласты: фторопласт, полиметилметакрилат, полиэтилен и др. г) Теплозащитные покрытия, разрушающиеся в результате хим. взаимодействия с внеш. потоком. Унос массы этих покрытий происходит тл. обр. за счёт гетерогенных хим. реакций между материалом покрытия и набегающим потоком газа, в результате к-рых образуются газообразные соединения. Для расчёта скорости разрушения покрытий данного класса обычно пользуются т. н. безразмерной скоростью уноса массы $G = G(I_{00} - I_w)/q_0$, к-рая определяется протекающи-