

К. А. ОСИПОВ

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПЛАВЛЕНИЯ И ЖАРОПРОЧНОСТЬЮ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

(Представлено академиком Н. Т. Гудцовым 6 VII 1949)

Автор ⁽¹⁾ сообщил уже экспериментальные данные, подтверждающие связь между температурой плавления и жаропрочностью металлических сплавов. Рассмотрим теперь работу Мотта ⁽²⁾, посвященную процессу скольжения на границах зерен одноатомных металлов.

Предполагая, что в основе механизма скольжения на границах зерен чистого металла лежит процесс усиления неправильного распределения атомов по узлам кристаллической решетки, Мотт ⁽²⁾ получил для скорости скольжения v_c следующее уравнение:

$$v_c = 2\nu a \exp \left\{ -nL \left(1 - \frac{T}{T_m} \right) / kT \right\} \sin h(\sigma n \omega a / 2kT), \quad (1)$$

которое для малых напряжений приводится к уравнению:

$$v_c = \frac{\nu a^2 n \omega \sigma}{kT} \exp \left\{ -\frac{nL}{kT} \left(1 - \frac{T}{T_m} \right) \right\}. \quad (2)$$

В этих уравнениях ν — частота атомных колебаний; a — половина параметра решетки; n — число атомов, которые должны быть разупорядочены; ω — площадь, покрываемая одним атомом; σ — напряжение; L — теплота плавления на один атом; T_m — абсолютная температура плавления; T — абсолютная температура, при которой происходит скольжение; k — постоянная Больцмана.

Здесь интересно отметить, что еще в 1932 г. А. В. Степанов ⁽³⁾ установил связь между работой деформации и теплотой плавления у металлов гексагональной системы.

Можно ожидать, и это следует проверить экспериментальными исследованиями, что и процесс скольжения на границах зерен твердого металлического раствора удовлетворяет уравнениям, которые аналогичны (1) и (2). Тогда вместо теплоты плавления в уравнения (1) и (2) можно будет ввести величину, характеризующую температурный интервал кристаллизации твердого раствора, и по ней производить грубую оценку жаропрочности сплава.

На основании известных соотношений ⁽⁴⁾ теплота плавления двойного твердого раствора, отнесенная к одному атому, и ширина интервала кристаллизации могут быть связаны между собой следующим уравнением:

$$\frac{L}{k} = \ln \frac{\alpha_{mc} A_{mc}}{\alpha_m A_m} : \frac{1}{T_s}, \quad (3)$$

где $A_{ж}$ и $A_{т}$ — атомные доли концентрации компонентов в жидкой и твердой фазах вблизи температуры солидуса T_s ; $\alpha_{ж}$ и $\alpha_{т}$ — коэффициенты активности компонента в жидкой и твердой фазах.

А. Ф. Капустинский⁽⁵⁾ предложил выражать коэффициенты активности в единицах, обладающих размерностью концентрации, но являющихся вместе с тем мерой химической активности атомов. Это будет валентность, деленная на объем атома ($\alpha = W/V$). Так как можно считать, что валентность атомов не изменяется при переходе сплава из твердого в жидкое состояние, то получим:

$$\frac{\alpha_{ж}}{\alpha_{т}} = \frac{V_{т}}{V_{ж}}. \quad (4)$$

При плавлении металлов объем мало увеличивается, примерно на 3%. Мало увеличивается и объем, приходящийся на один атом. Поэтому отношение коэффициентов активности атомов в жидкой и твердой фазах можно принять приближенно равным единице. Это не будет большой погрешностью, тем более, что вблизи температуры плавления твердая и жидкая фазы имеют много общего в своем строении. Принимая отношение коэффициентов активности равным единице, вместо (3) получим:

$$\frac{L}{k} = \ln \frac{A_{ж}}{A_{т}} : \frac{1}{T_s}. \quad (5)$$

После соответствующей подстановки правой части (5) в (2) окончательно получим:

$$v_c = \frac{\nu_{cp} a^2 n \omega \sigma}{kT} \exp \left\{ -n \ln \frac{A_{ж}}{A_{т}} \left(\frac{T_s}{T} - 1 \right) \right\}, \quad (6)$$

где ν_{cp} — средняя частота атомных колебаний в твердом растворе; другие обозначения соответствуют вышеуказанным значениям, но они должны применяться уже не к одноатомным металлам, как в (2), а к твердым растворам.

Соответствующее преобразование можно сделать и для уравнения (1).

Уравнение (6) дает связь между скоростью скольжения на границах зерен твердого раствора и кривыми ликвидуса и солидуса. Из него видно, что эта скорость будет тем меньше (больше жаропрочность), чем выше температура солидуса и чем шире интервал кристаллизации сплава. Не следует, однако, думать, что поведение сплава при пластической деформации целиком можно оценить по кривым солидуса и ликвидуса. Из уравнения (6) видно, что скорость скольжения зависит и от таких величин, как частота атомных колебаний, параметр решетки, размер атомов и число атомов, участвующих в процессе скольжения.

Некоторые из этих величин не поддаются такому простому учету, как температуры плавления, но оказывают свое влияние на процесс скольжения.

Поступило
23 VI 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. А. Осипов, ДАН, 61, № 1 (1948). ² N. F. Mott, Proc. Phys. Soc., 60, 4, № 340 (1948). ³ А. В. Степанов, Phys. Zs. d. S. U., 2, 6 (1932). ⁴ К. К. Kelley, Contribution to the Data on Theoretical Metallurgy. V. Heats of Fusion of Inorganic Substances, 1936. ⁵ А. Ф. Капустинский, Изв. АН СССР; ОХН, № 6 (1948).