

УПРУГИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ Ti, TiNi–TiFe и Fe

Муслов С.А., Хачин В.Н.

В работе исследованы упругие свойства титана Ti, его сплавов (двойных на основе никелида титана, TiNi вблизи эквиатомного состава и тройных квазибинарного разреза TiNi–TiFe), а также железа Fe.

Среди механических свойств модули упругости – важнейшие характеристики материалов. Они являются мерой прочности и расчетными параметрами в теориях деформации и разрушения. Зачастую именно упругие свойства определяют масштабы применения материалов. Упругие постоянные определяют устойчивость кристаллической решетки металлов и сплавов к структурным фазовым переходам при изменении температуры или давления.

Упругие свойства материалов в общем виде описываются тензором четвертого ранга c_{ijkl} , который связывает два тензора напряжений σ_{ij} и деформаций ϵ_{kl} с помощью обобщенного закона Гука. Также применяют коэффициенты податливости s_{ijkl} . В силу симметрии реальных кристаллов число упругих постоянных c_{ijkl} сокращается. Железо Fe и твердые растворы TiNi и TiNiFe имеют кубическую объемно-центрированную решетку и, следовательно, для полного описания их упругих свойств достаточно трёх упругих констант c_{11} , c_{12} и c_{44} . При этом прямой физической смысл имеют линейная комбинация первых двух упругих постоянных $C' = \frac{c_{11} - c_{12}}{2}$, контролирующая сопротивление решётки “зинеровскому” сдвигу плоскости $\{110\}$ в направлении $[1\bar{1}0]$ и постоянная c_{44} , численно равная модулю сдвига решётки в кристаллографической системе $\{100\}\langle h\bar{k}0\rangle$, то есть в плоскости куба вдоль любого направления, лежащего в этой плоскости. Это, как правило, наименьший и наибольший модули сдвига и соответственно самая “мягкая” и “жесткая” системы сдвига, поэтому отношение $A = \frac{c_{44}}{C'}$ служит мерой анизотропии и называется коэффициентом упругой анизотропии. Очевидно, что для упругоизотропного кристалла $A = 1$, $c_{44} = C'$. Для материалов гексагональной симметрии, какими являются кристаллы Ti, независимых упругих постоянных – пять: c_{11} , c_{33} , c_{44} , c_{12} и c_{13} , а параметров анизотропии – три: A_1 , A_2 и A_3 .

В настоящей работе исследованы упругие свойства металлов и сплавов на примере соединений на основе титана, никелида титана (нитинола) при легировании железом вместо никеля вплоть до полного замещения и железа – основы нержавеющей стали. Все исследованные материалы (за исключением $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{25}\text{Fe}_{25}$ и $\text{Ti}_{50}\text{Fe}_{50}$) испытывают те или иные структурные фазовые превращения. Сравнительный анализ выполнен на монокристаллах материалов. Определены упругие постоянные второго порядка, коэффициенты податливости, модули Юнга и сдвига в различных направлениях, построены указательные поверхности упругих свойств. Проанализирована устойчивость решетки кристаллов с позиций соотношений Коши для кубических и гексагональных кристаллов и значений коэффициентов упругой анизотропии.