

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ ОБРАЗЦА СПЛАВА Ti_2NiCu С ТЕРМОУПРУГИМ МАРТЕНСИТНЫМ ПЕРЕХОДОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯХ

^{1,2}Метлов Л.С., ³Коледов В.В., ³Шавров В.Г., ³Морозов Е.В., ³Кузнецов Д.Д., ³Быбик М.С., ³Дильмеева Э.Т.,
³Калашников В.С., ^{1,4}Техтелев Ю.В.

¹Донецкий физико-технический институт имени А.А. Галкина, Украина

²Донецкий национальный университет, Украина

³Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия

⁴Луганский национальный университет им. Т.Г. Шевченко, Луганск, Украина

Введение

Наиболее распространенный вариант теории Ландау фазовых переходов (ФП) предполагает зависимость (критическую) от температуры коэффициента при второй степени параметра порядка (ПП). В то же время, в соответствии с общей методологией теории, от температуры, а также от напряжения могут зависеть все коэффициенты в разложении свободной энергии. Особое значение это имеет в случае материалов и сплавов, с термоупругим мартенситным ФП, обладающих эффектом памяти формы (ЭПФ), который существенно усложняет протекание ФП.

Влияние растягивающих напряжений на протекание мартенситного фазового перехода в материалах с ЭПФ изучалось ранее [1, 2]. В некоторых случаях важной особенностью таких кривых является отсутствие зависимости параметра порядка (ПП) в форме деформации от температуры ниже T_M (левее гистерезисной петли) и сильная зависимость от внешнего напряжения (рис. 1,а в [2]). В рамках стандартного варианта теории Ландау, такого соответствия экспериментально наблюдаемым кривым не удается добиться. Однако, его можно достигнуть, если учесть зависимость и других коэффициентов в разложении свободной энергии от температуры, а также от внешнего напряжения [7].

Теоретическая модель

При наличии одноосных растягивающих напряжений можно ограничиться упрощенной и в то же время универсальной моделью [4]. Степенное представление свободной энергии по ПП имеет вид

$$\Phi_s = \Phi_0 + \frac{1}{2}a\varepsilon^2 + \frac{1}{3}b\varepsilon^3 + \frac{1}{4}c\varepsilon^4 \quad (1)$$

где ε – одноосная деформация (ПП). Коэффициенты разложения a , b и c задаем выражениями

$$a = a_0(T - T_M) + a_2\sigma + a_3\sigma T \quad (2)$$
$$b = b_0 + b_1T + b_2\sigma$$

Чтобы удовлетворить условию независимости ПП ε на рис. 1 от температуры ниже T_M необходимо, чтобы температурная зависимость коэффициентов a и b компенсировали друг друга. Для того, чтобы обеспечить сильную зависимость от напряжения недостаточно учитывать только линейную по ПП взаимодействие с внешним напряжением $\sigma\varepsilon$. Необходимо также учитывать и при более высоких степенях пп, что и отражено в (2). Теоретические гистерезисные кривые (рис. 2) повторяют все особенности экспериментальных кривых.

График 1

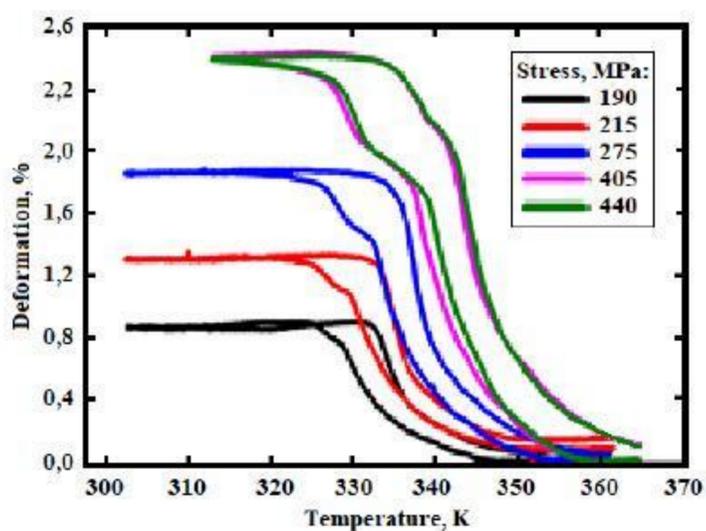


Рис. 1 Экспериментальные зависимости ПП (деформация) от температуры при заданных внешних растягивающих напряжениях (см. Вставку)

График 2

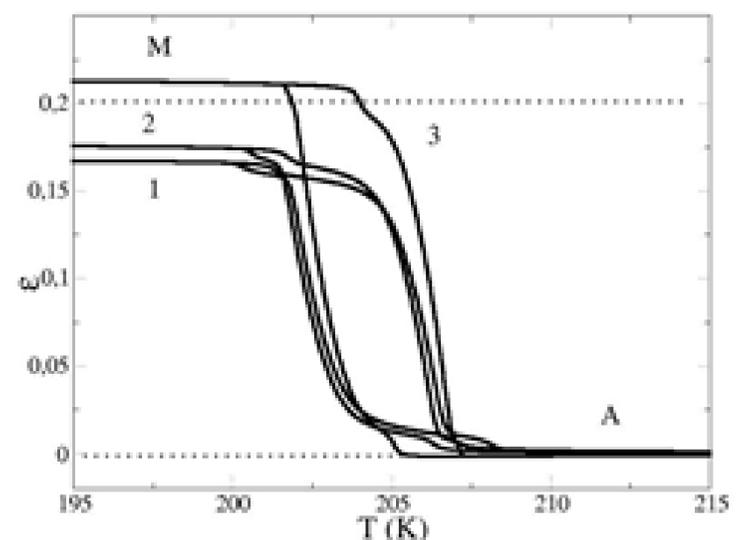


Рис. 2 Теоретические зависимости ПП (деформация) от температуры при возрастающих значениях растягивающих напряжений – 1, 2, 3

Выводы

1. Посредством учета температурной зависимости и зависимости от внешних напряжений при более старших степенях ПП удалось адекватно описать наблюдаемые в эксперименте гистерезисные кривые на материалах, обладающих эффектом памяти формы.
2. Подбором компенсирующей зависимости коэффициентов при второй и третьей степенях ПП удалось добиться независимости ПП от температуры ниже T_M .
3. Учет нелинейных по ПП вкладов взаимодействия с внешним полем позволил описать сильную зависимость асимптотических участков кривых ниже T_M от напряжений.

Литература

1. Belaev S.P., Resnina Y.Y., Koledov V.V. JAC, 2013, **586**, 1, 5222,
2. Buchel'nikov V.D., Bosko S.I. JMMM, 2003, **250-259**, 497,...
3. Гуфан А.Ю., Гуфан М.А., Гуфан Ю.М. <http://pti-nt.ru> 2017, 3, 46
4. Метлов Л.С. ФТВД, 2019, **29**, 1, 28.