

УДК 539.3:669.24

АНОМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ В СПЛАВАХ СО СВЕРХСТРУКТУРОЙ $L1_2$ И ТЕОРИЯ ПАЙДЕРА-ПОУПА-ВИТЕКА

Э.В.Козлов, Н.А.Конева, Е.В.Коновалова

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск

Упорядочивающиеся сплавы и интерметаллиды со сверхструктурой $L1_2$ (рис. 1) обнаруживают нередко аномальное механическое поведение с ростом температуры испытания. Систематическими исследованиями установлено, что все сплавы со сверхструктурой $L1_2$ по температурной зависимости напряжения течения могут быть разделены на четыре группы. Схематическое представление о свойствах этих сплавов дано на рис. 2. Первая группа сплавов (рис. 2, кр.1) имеет обычную температурную зависимость, типичную для ГЦК-металлов: напряжение течения σ убывает монотонно с ростом температуры T . Вторая группа сплавов (рис. 2, кр.2) отличается от первой значительным подъемом напряжения течения в районе низких температур. Третья группа сплавов (рис. 2, кр. 3) отличается от первой аномальным ростом напряжения течения при повышенных температурах. Обычно это происходит вблизи температуры превращения порядок-беспорядок— T_k . Наконец, четвертый тип зависимости $\sigma = f(T)$ характеризуется аномальным ростом напряжения течения в значительном интервале температур (рис. 2, кр. 4).

Известный интерметаллид Ni_3Al [1, 2] и сплавы на его основе проявляют именно последний тип температурной зависимости напряжения течения. Поэтому материалы на основе интерметаллида Ni_3Al широко используются для деталей горячей зоны современных температурных двигателей. В течение длительного времени четвертый тип зависимости $\sigma = f(T)$ (см. рис. 2) объяснялся на основе теории Пайдера-Поупа-Витека (PPV) [3]. Основу этой теории составляет возрастающая с ростом температуры вероятность образования барьеров Кира-Вильсдорфа [4, 5], создающихся попе-

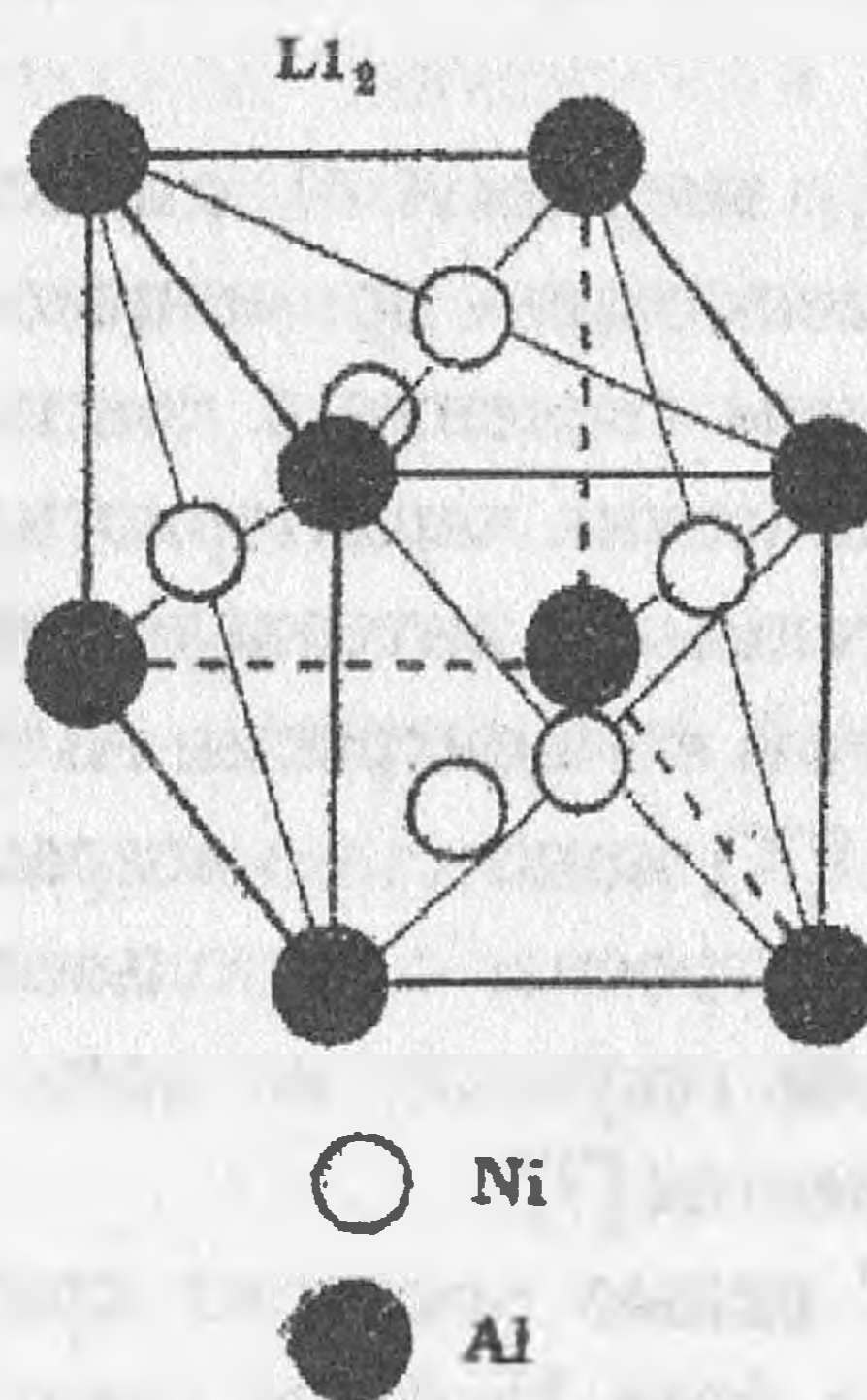


Рис. 1. Элементарная ячейка сверхструктуры $L1_2$. Сплав Ni_3Al .

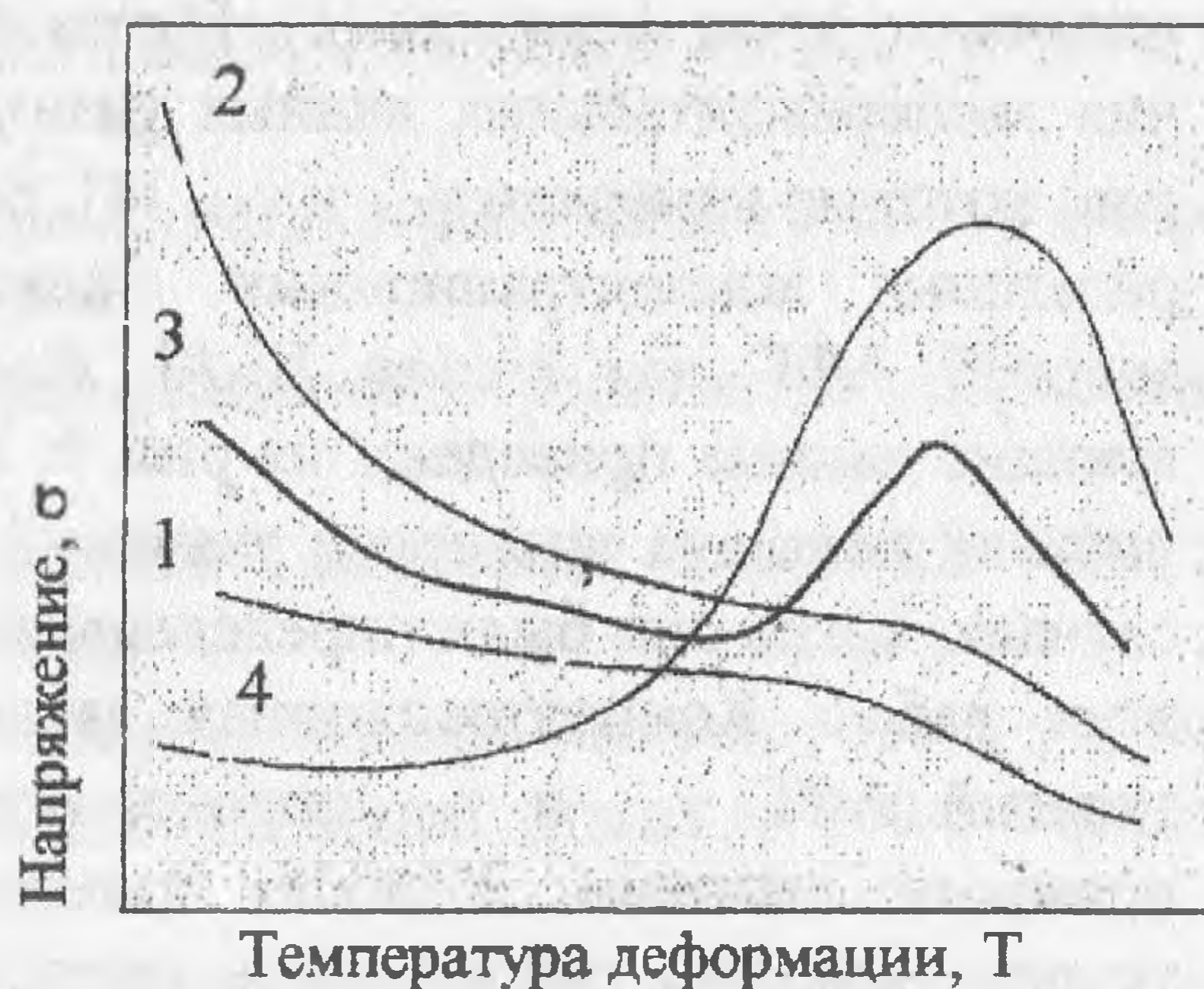


Рис. 2. Характерные температурные зависимости напряжения течения сплавов со сверхструктурой $L1_2$. 1 – без аномалии; 2 – низкотемпературная аномалия. 3 – высокотемпературная аномалия вблизи температуры превращения порядок-беспорядок (T_k), 4 – высокотемпературная аномалия для интерметаллидов.

речным скольжением винтовых сверхдислокаций (СД) из плоскости октаэдра $\{111\}$ в плоскость куба $\{100\}$. Согласно теории PPV вероятность такого процесса возрастает с ростом различия в энергиях антифазной границы (АФГ) в плоскостях куба и октаэдра. Иными словами амплитуда максимума напряжения течения на зависимостях $\sigma = f(T)$ должна возрастать с ростом разности величин

$$\gamma_{111} - \gamma_{001} = \Delta\gamma, \quad (1)$$

где γ_{111} энергия АФГ в плоскостях $\{111\}$, γ_{001} - то же, но для $\{100\}$ [3].

Рассмотрим применимость теории PPV к интерметаллиду Ni_3Al . Для этого проанализируем сведения о концентрационной зависимости параметров этого сплава и его механических характеристик. Интерметаллид Ni_3Al в однофазном состоянии является гомогенным в интервале концентраций (22,5 - 27,5) ат.%Al [6]. Во всем этом интервале с ростом концентрации Al предел текучести ($\sigma_{0,2}$) на пике температурной зависимости $\sigma_{0,2} = f(T)$ монотонно возрастает. Соответствующие данные приведены на рис. 3, которые построены с использованием результатов [7]. При этом температура максимума предела текучести во всем интервале существования фазы $L1_2 Ni_3Al$ практически не изменяется [7].

С целью проверки применимости теории PPV к фазе Ni_3Al со сверхструктурой $L1_2$ во всем интервале ее существования необходимо определить концентрационную зависимость величины $\Delta\gamma$ из формулы (1). Путем обобщения экспериментальных данных разных авторов, которые измеряли γ_{111} и γ_{001} [8], были определены концентрационные зависимости энергий АФГ для сплава Ni_3Al . Соответствующие данные приведены на рис. 4. На этом рисунке показана дисперсия значений γ в тех случаях, когда они были определены авторами этих работ. Концентрационная зависимость энергий АФГ γ_{111} и γ_{001} аппроксимировалась прямыми линиями. Хорошо известно, как трудно измерять расщепление сверхдислокаций в сплаве Ni_3Al , поскольку оно очень мало. Поэтому значения дисперсии столь велики. Тем не менее зависимости $\gamma = f(C)$, представленные на рис. 4, на наш взгляд, являются вполне достоверными. Подтверждением этому служит линейная зависимость энергии АФГ от энергии образования сплава, которая наблюдается для сплава Ni_3Al .

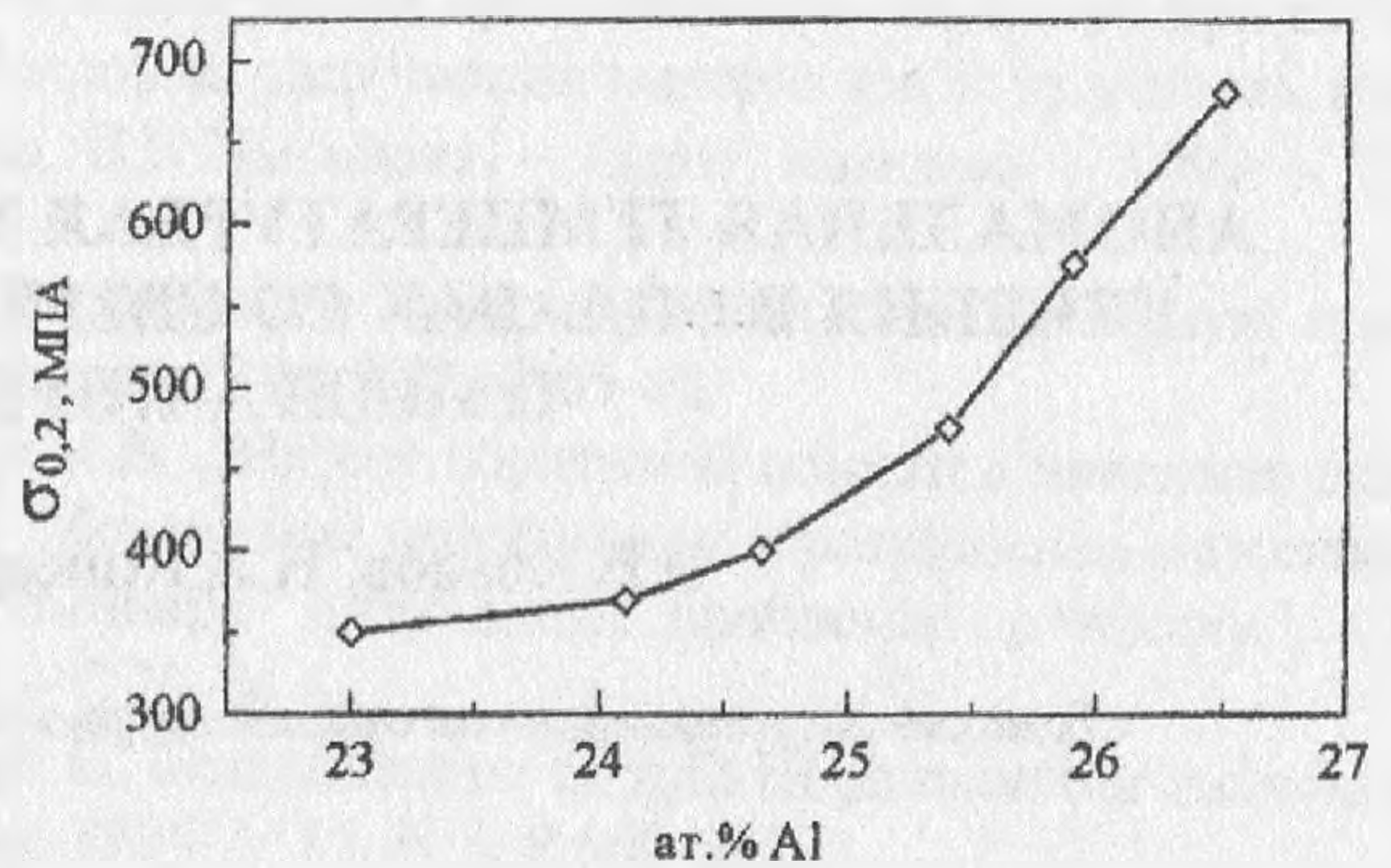


Рис. 3. Максимальное значение предела текучести $\sigma_{0,2}$ для сплава Ni_3Al в зависимости от содержания Al. Температура пика - 850 - 900 К. Построено по данным [7].

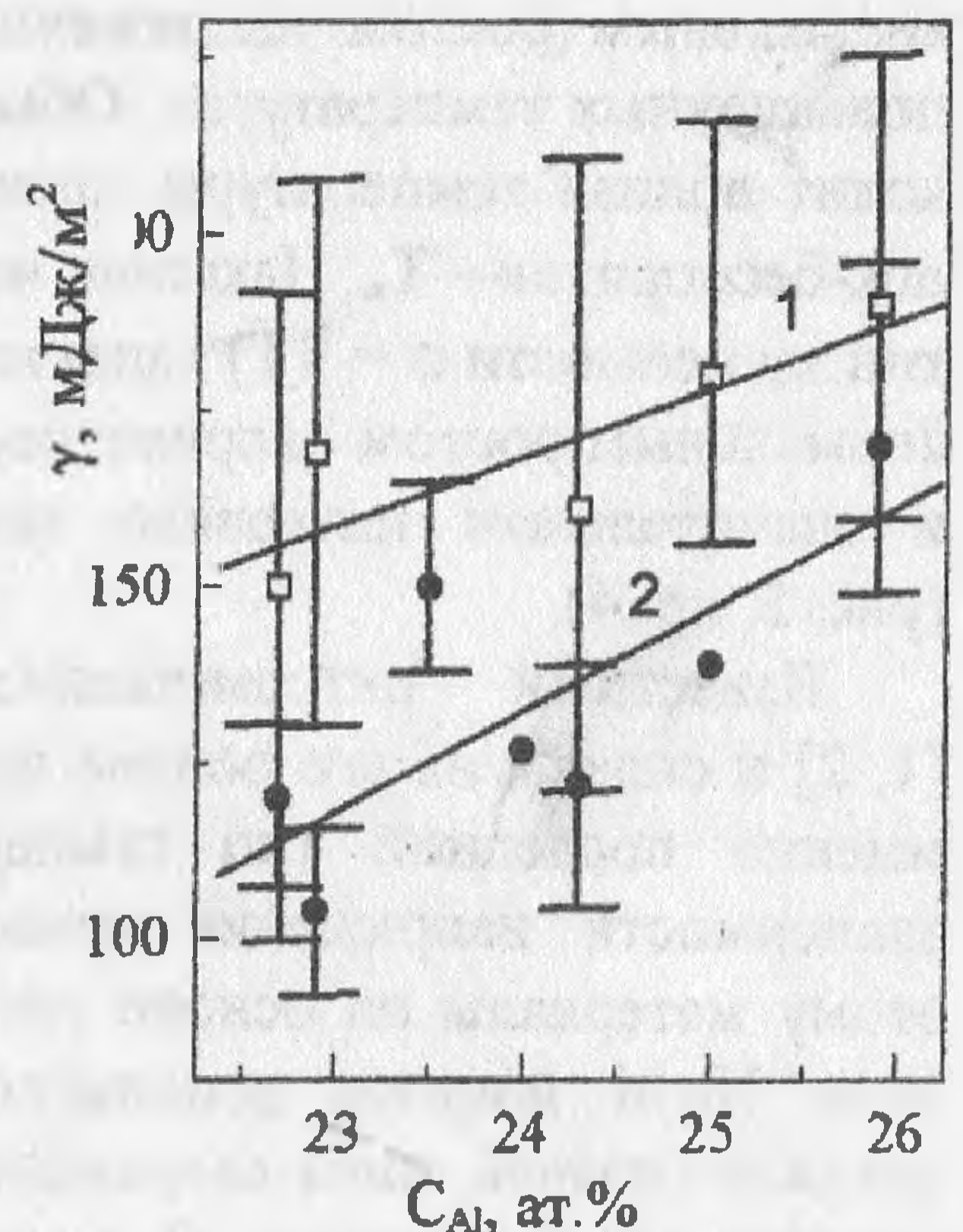


Рис. 4. Концентрационная зависимость энергий АФГ γ_{111} (1) и γ_{001} (2) для сплава Ni_3Al .

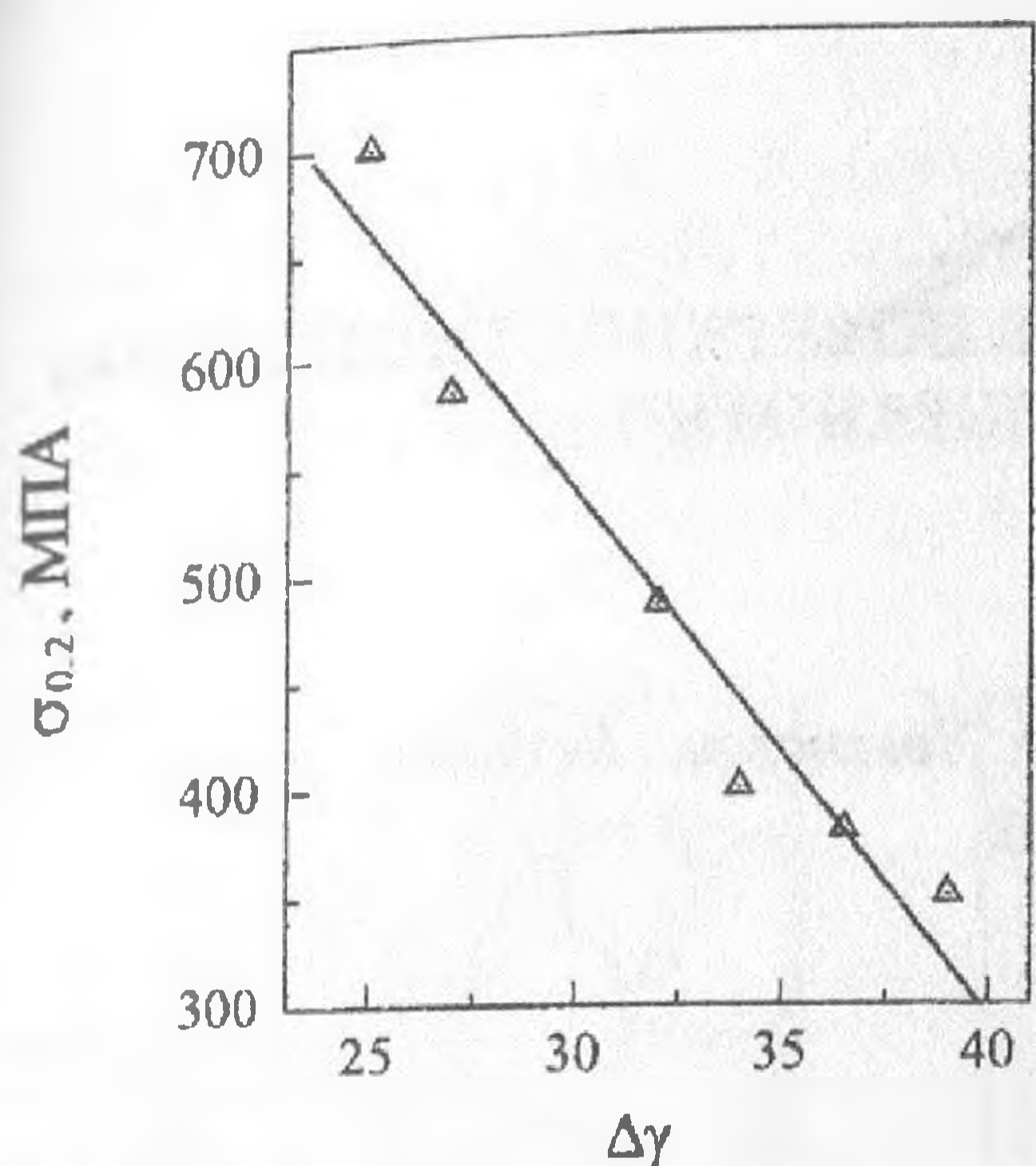


Рис. 5. Зависимость максимального значения предела текучести $\sigma_{0.2}$ от параметра $\Delta\gamma = \gamma_{111} - \gamma_{001}$ для сплава Ni_3Al .

Имея данные рис. 2 и 3, можно определить зависимость $\sigma_{0.2}$ на пике температурной зависимости напряжения течения от величины $\Delta\gamma$. Соответствующие данные приведены на рис. 5. Из этого рисунка следует, что напряжение на пике температурной зависимости предела текучести убывают с ростом разности ($\Delta\gamma$) энергий АФГ в октаэдре и кубе. Такая зависимость полностью противоречит основным положениям теории РРВ [3]. В случае справедливости последней—значение предела текучести должно было возрастать с ростом $\Delta\gamma$ [2].

Таким образом, можно констатировать, что известная теория Пайдера-Поупа-Витека совершенно неприменима к объяснению аномальной температурной зависимости предела текучести интерметаллида Ni_3Al во всем концентрационном интервале существования фазы $L1_2$.

Работа выполнена при финансовой поддержке INTAS - International Association, грант INTAS97 - 31994.

Список литературы

1. Pope D.P., Ezz S.S. Mechanical properties of Ni_3Al and nickel – base alloys with high volume fraction of γ' . // Intern. Metals Reviews. 1984. Vol.29. №3. P.136-167.
2. Liu C.T., Pope D.P. Ni_3Al and its alloys. //Intermetallic Compounds. Chapter 2. Ed. J.H. Westbrook, R.L. Fleisher. 1994. Vol.2. P.17-32.
3. Paidar V., Pope D.P., Vitec V. A theory of the anomalous yield behavior in $L1_2$ ordered alloys. // Acta Metall. 1984. Vol.33. №3. P.435-448.
4. Попов Л.Е., Конева Н.А., Терешко И.В. Деформационное упрочнение упорядоченных сплавов., Металлургия, 1979. 255 с.
5. Veyssiere P., Douin J. Dislocations. // Intermetallic Compounds. Chapter 22. Ed. J.H. Westbrook, R.L. Fleisher 1994. Vol.2. P.519-558.
6. Jia C.C., Ishida K., Nishizawa T. Partition of alloying elements between γ (A1), γ' ($L1_2$), and β (B2) phase in Ni-Al base systems. //Metall. and Mater. Trans. A. 1994. Vol.25A. P.473-485.
7. Noguchi O., Oya Y., Suzuki T. The effect of nonstoichiometry on the positive temperature dependence of strength of Ni_3Al and Ni_3Ga . // Metall. Trans. A. 1981. Vol.12A. P.1647-1653.
8. Sun J.-Q. Structure of antiphase boundaries and domains. // Intermetallic Compounds. Chapter 21. Ed. J.H. Westbrook, R.L. Fleisher 1994. Vol.1., Principles. P.495-517.