

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ В Ni-Al СПЛАВАХ С ИСХОДНОЙ СТРУКТУРОЙ МАРТЕНСИТА

В системе Ni-Al в пересыщенных никелем в β -сплавах на основе NiAl при охлаждении протекает сдвиговое термоупругое превращение с образованием двойникового мартенсита с решёткой типа $L1_0$. Переход β -фазы в мартенсит ($\beta \rightarrow m$) наблюдается при температурах выше комнатной при содержании никеля в Ni-Al больше 62 ат.%. При этом интервал мартенситного превращения повышается на 100 °C при увеличении концентрации никеля на 1 ат.% в сплаве.

В системе Ni-Al фазы на основе интерметаллидов характеризуются высокой энергией связи между атомами переходного металла и алюминия и обладают высокой энергией упорядочения. Интерметаллиды NiAl и Ni_3Al и фазы на их основе имеют упорядоченные решетки $B2$ и $L1_2$, а в сплавах промежуточных составов возможно образование сверхструктур высокого ранга Ni_5Al_3 и Ni_2Al .

В настоящей работе дилатометрическим (рис.), рентгенографическим и электронномикроскопическим методами был изучен в процессе нагрева закаленный от 1200 °C сплав 64Ni – 36 Al (ат.%) со структурой мартенсита.

Целью исследования является установление связи обратного мартенситного превращения с процессами сверхупорядочения в системе Ni-Al.

Дилатометрическое исследование линейных и объемных изменений в закалённом сплаве при нагреве до 900 °C показало, что до 220 °C наблюдается монотонное возрастание линейных размеров образца, указывающее на отсутствие фазовых изменений в сплаве.

В интервале температур 220–320 °C резко преломляется наклон кривой, свидетельствующий о сжатии образца и образовании фазы с меньшим удельным объемом, чем у фазы в закаленном сплаве. Объемный эффект этого превращения составляет 2,8–3,0 %.

В интервале температур 320–530 °C происходит монотонное изменение линейных размеров, но при 455 °C кривая линейного расширения образца имеет небольшой перегиб, показывающий некоторое увеличение коэффициента линейного расширения в интервале 455–530 °C.

В интервале 530–700 °C происходит значительное уменьшение линейных размеров образца, по сравнению с ходом кривой при температурах 320–530 °C, указывающее на фазовый переход с

образованием фазы с меньшим объемом. Объемный эффект превращения составляет 2 %.

При температуре, равной 600 °С также наблюдается слабо выявляемый перегиб кривой линейного расширения.

Повышение температуры с 700 до 750 °С вызывает резкое изменение хода кривой линейного расширения, свидетельствующее о значительном увеличении линейных размеров образца.

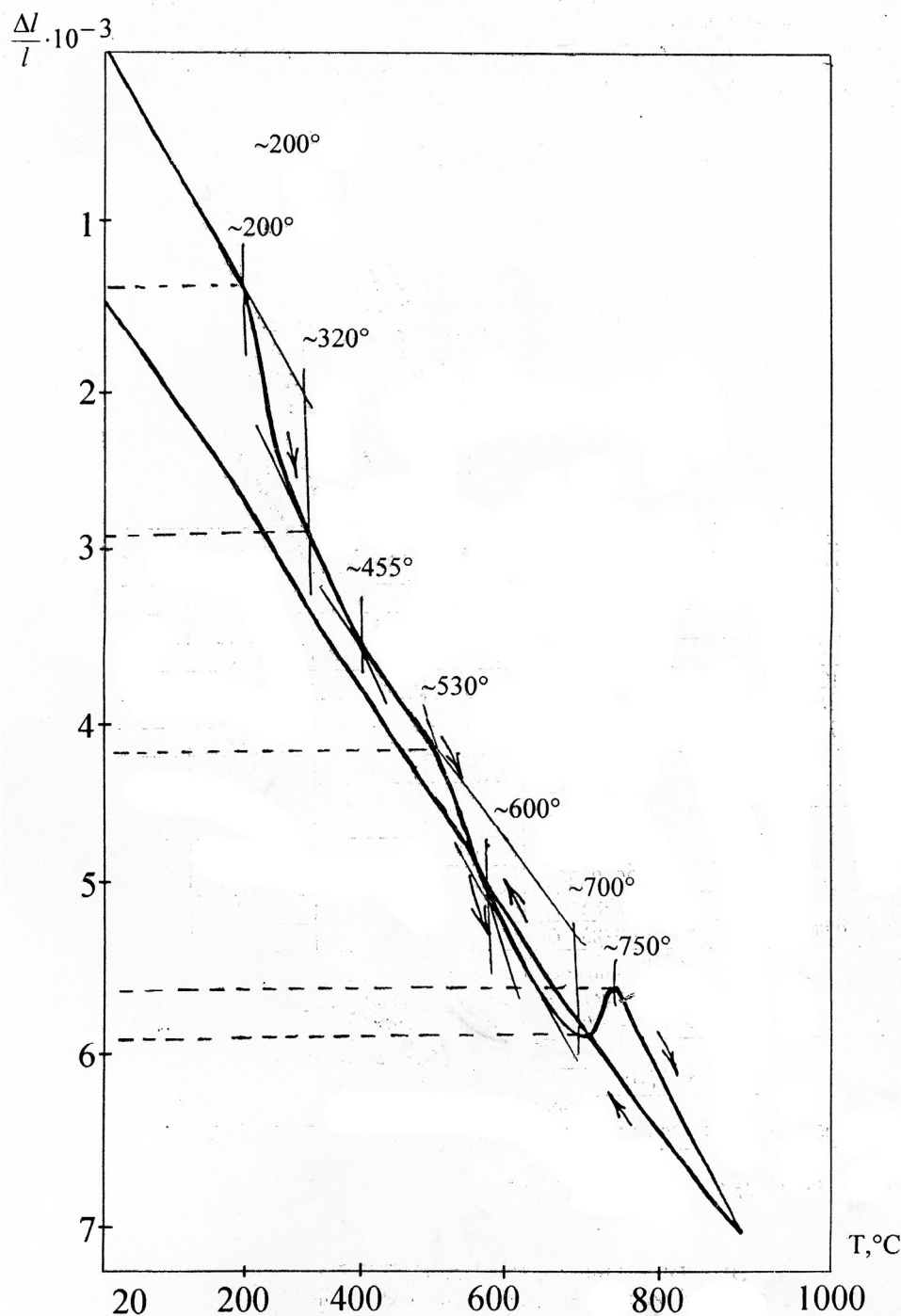


Рис. Дилатометрическая кривая исходно закаленного сплава 64Ni–36Al (ат.%) при нагреве и охлаждении

При 750 °С кривая линейного расширения вновь испытывает перегиб, и в интервале 750–900 °С имеет прямолинейную зависимость от температуры, указывающую на монотонное изменение линейных размеров.

При охлаждении от 900 °С до комнатной температуры наблюдается нормальное сокращение размеров образца.

Анализ результатов электронномикроскопического и рентгеноструктурного исследований показал, что при нагреве до 180–220 °С мартенсит сохраняет устойчивость, а при более высоких температурах (до 320 °С) часть мартенсита претерпевает термоупругое превращение в высокотемпературную β (B2) – фазу, что хорошо согласуется с известными ранее данными. При этом установлено, что мартенситное превращение в этой области сопровождается сверхупорядочением по типу Ni_5Al_3 .

Показано, что в интервале температур 320–530 °С мартенсит, который не претерпел обратное превращение в β -фазу, сохраняет достаточно высокую устойчивость по отношению к распаду.

Электронномикроскопическим методом установлено, что после двухчасовых отпусков при 400 °С наблюдается сверхупорядочение решётки мартенсита $L1_0$ по типу Ni_5Al_3 , а при 500 °С формируется ярко выраженная сверхструктура мартенсита Ni_2Al . При этом структура не превратившегося мартенсита более стабильна по отношению к распаду после отпуска при 500 °С, чем при 400 °С.

В первом приближении сделано заключение, что перегиб на дилатометрической кривой при 455 °С связан с началом образования сверхструктуры Ni_2Al .

При образовании сверхструктуры Ni_2Al на базе решетки $L1_0$ в мартенсите возрастает концентрация никеля даже при протекании частичного распада мартенсита. Поэтому ярко выраженное изменение хода дилатометрической кривой в интервале 530–700 °С, показывающее заметное сжатие образца, по нашему мнению, объясняется обратным переходом мартенсита, существующего при 530 °С, в высокотемпературную β -фазу. Это подтверждает электронномикроскопическое исследование тонкой структуры сплава после закалки и двухчасового отпуска при 630 °С и быстрого охлаждения от этой температуры. Структура сплава подобна структуре закаленного мартенсита и представляет собой колонии микродвойников двух систем: $\{111\}\langle 112 \rangle$ и $\{101\}\langle 101 \rangle$. При этом сверхструктура Ni_2Al не выявляется после отпуска при 630 °С. Существование сверхструктуры Ni_5Al_3 возможно до 700 °С.

Рентгеноструктурные исследования свидетельствуют о том, что структура мартенсита сохраняется в сплаве до температур, превышающих 700 °С.

Резкое увеличение коэффициента линейного расширения в интервале 700–750 °С, показывающее значительное увеличение объема образца, свидетельствует о том, что не распавшийся при нагреве и не превратившийся в β -фазу мартенсит, в этой области температур распадается с образованием $\beta(\text{NiAl})$ – и $\gamma'(\text{Ni}_3\text{Al})$.

В области температур выше 750 °С наблюдается дораспад β -фазы с выделением γ' -фазы, который сопровождается уменьшением линейных размеров и термического расширения β - и γ' -фаз.

Если сравнивать линейные изменения образца при нагреве, связанные с фазовыми переходами в интервалах 220–320 °С, 530–700 °С и 700–750 °С, то в сдвиговом переходе мартенсита в β -фазу в интервале 220–320 °С участвует 43 % мартенсита, в интервале 530–700 °С – 49 % мартенсита, а в интервале 700–750 °С в процессе распада мартенсита на β - и γ' - фазы подвергается всего лишь 3 % мартенсита.

Выводы

В системе Ni-Al, для которой характерна высокая энергия упорядочения атомов, особенности протекания мартенситного превращения связаны с процессами образования сверхструктур высокого ранга Ni_5Al_3 и Ni_2Al .

При нагреве пересыщенного никелем Ni-Al сплава с исходной структурой мартенсита происходит обратное превращение мартенсита в высокотемпературную матричную β -фазу, протекающее в два этапа в низкотемпературном и высокотемпературном интервалах, в которых наиболее интенсивно образуются на основе решетки $L1_0$ мартенсита сверхструктуры Ni_5Al_3 и Ni_2Al .