

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ ФОРМЫ В СПЛАВЕ MnCu

Андронов И.Н., Балдычева И.Е.

Ухтинский государственный технический университет (г. Ухта),
E-mail: ivan@uui.sever.ru

Экспериментально показано, что как при прямом так и обратном нагружениях в первых термоциклах имеет место неравновесный характер деформирования. Замечено, что на установившейся стадии термоциклирования фазовые диаграммы принимают практически равновесный вид. Высказано предположение, что при длительном термоциклировании фазовые траектории стремятся занять положение некоторого предельного цикла - аттрактора.

В настоящее время хорошо известен обширный класс материалов, обладающих эффектом памяти формы [1] и других явлений, именуемых ниже мартенситной неупругостью. Наибольший интерес с прикладной точки зрения по-прежнему представляет способность материалов демонстрировать так называемый эффект многократно обратимой памяти формы [2÷6] в процессе теплосмен материала через интервалы мартенситных переходов. Указанные свойства достаточно хорошо изучены экспериментально [1], и есть теория [7], позволяющая осуществлять расчет поведения материалов в условиях проявления мартенситной неупругости при сколько угодно сложных функционально-механических режимах нагружения.

Целью настоящего сообщения является попытка качественно описать поведение сплава Mn-27,8% Cu при термоциклировании под нагрузкой, а так же после смены знака напряжений при последующих теплосменах. Использовали сплошные цилиндрические образцы с длиной и диаметром рабочей части соответственно 30 и 4 мм, которые нагревали и охлаждали через интервалы ГЦТ \Leftrightarrow ГЦК превращений при изменении температуры от 77 до 600 К ($T_{min} < M_n$, $T_{max} > A_k$) под напряжением τ (кручение). После примерно 20 циклов меняли знак напряжения, продолжая теплосмены (15 – 20 термоциклов). Во всех опытах фиксировали изменение температуры T и сдвиговой деформации $\gamma = 2\varepsilon_{13}$. Касательные напряжения τ_{13} оценивали в приближении идеально упругого тела, а сдвиговые деформации определяли в предположении соблюдения гипотезы плоских сечений. Температуру измеряли с точностью ± 5 К. Скорость нагрева и охлаждения составляла примерно 0.1 К/с.

На рис. 1 представлены типичные для данной серии опытов кривые $\varepsilon_{13} - T$ для первого (A), одиннадцатого (B), двадцать первого цикла (C) (при нагружении) и двадцать второго (A'), двадцать пятого (B') и тридцать седьмого цикла (C') после разгрузки и нагружения в обратную сторону. Указанные кривые построены с учетом суммарной необратимой деформации в мартенситном (I, I') и аустенитном (II, II') состояниях.

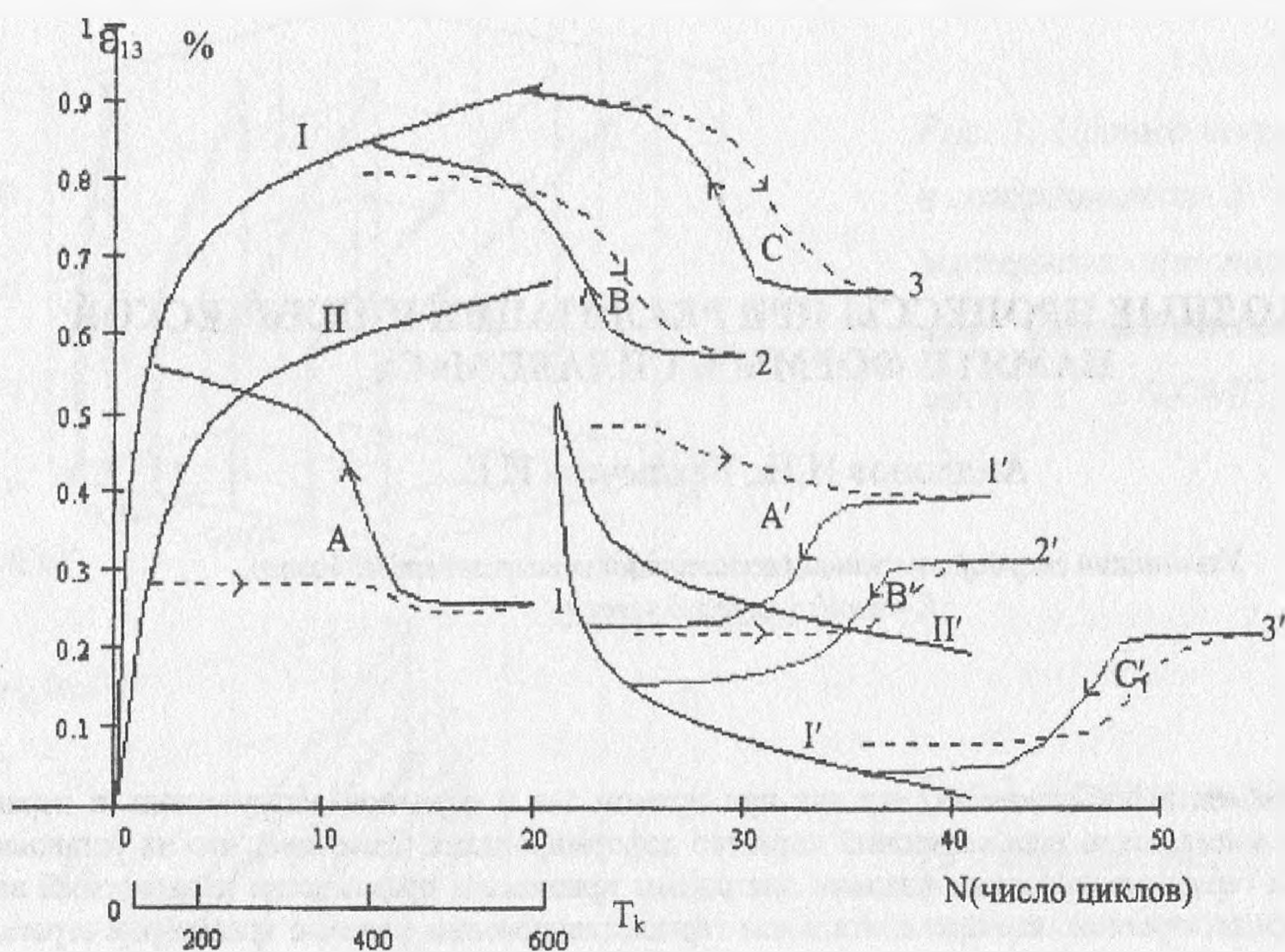


Рис. 1. Зависимости деформаций ϵ_{13} , накопленных при охлаждении (I, I') и нагревании (II, II') от числа теплосмен под напряжением $\tau_{13} = 81$ МПа при прямом (I, II) и обратном (I', II') нагружении. Кривые деформирования материала в первом (A), одиннадцатом (B), двадцать первом (C), двадцать втором (A'), двадцать пятом (B') и тридцать седьмом (C') термоциклах.

Сравнение поведения материала в первом и последующих циклах (кривые A, B, C) свидетельствует о том, что в процессе термоциклирования происходит постепенный переход от неустановившегося процесса к установившемуся, что сопровождается уменьшением незамкнутости термомеханического гистерезиса. Соответствующие фазовые траектории на плоскости $\epsilon_{13} - \dot{\epsilon}_{13}$, построенные по методике, описанной в [8], представлены на рис. 2, а, б. Кривые A, B, C на рис. 2, а показывают, что в первом цикле наблюдаются две неустановившиеся полупетли (кривые A), а в последующих термоциклах фазовые диаграммы представляют почти замкнутые петли (кривые B, C).

Смена знака напряжений при теплосменах приводит к кардинальному изменению кинетики деформирования материала. На этапе нагревания деформация вначале растет в противоположном, по отношению к исходному, направлению, а затем в положительном направлении. Охлаждению всегда будет отвечать изменение деформации в сторону уменьшения ее изначально накопленной величины. Соответствующие петли представлены кривыми A'B'C' на рис. 1. Фазовые диаграммы для термоциклов под напряжением противоположного знака представлены на рис. 2, б. Сравнение кривых на рис. 2, а и рис. 2, б свидетельствует о том, что смена знака напряжений приводит к изменению направления "движения" петель и обхода на фазовых траекториях.

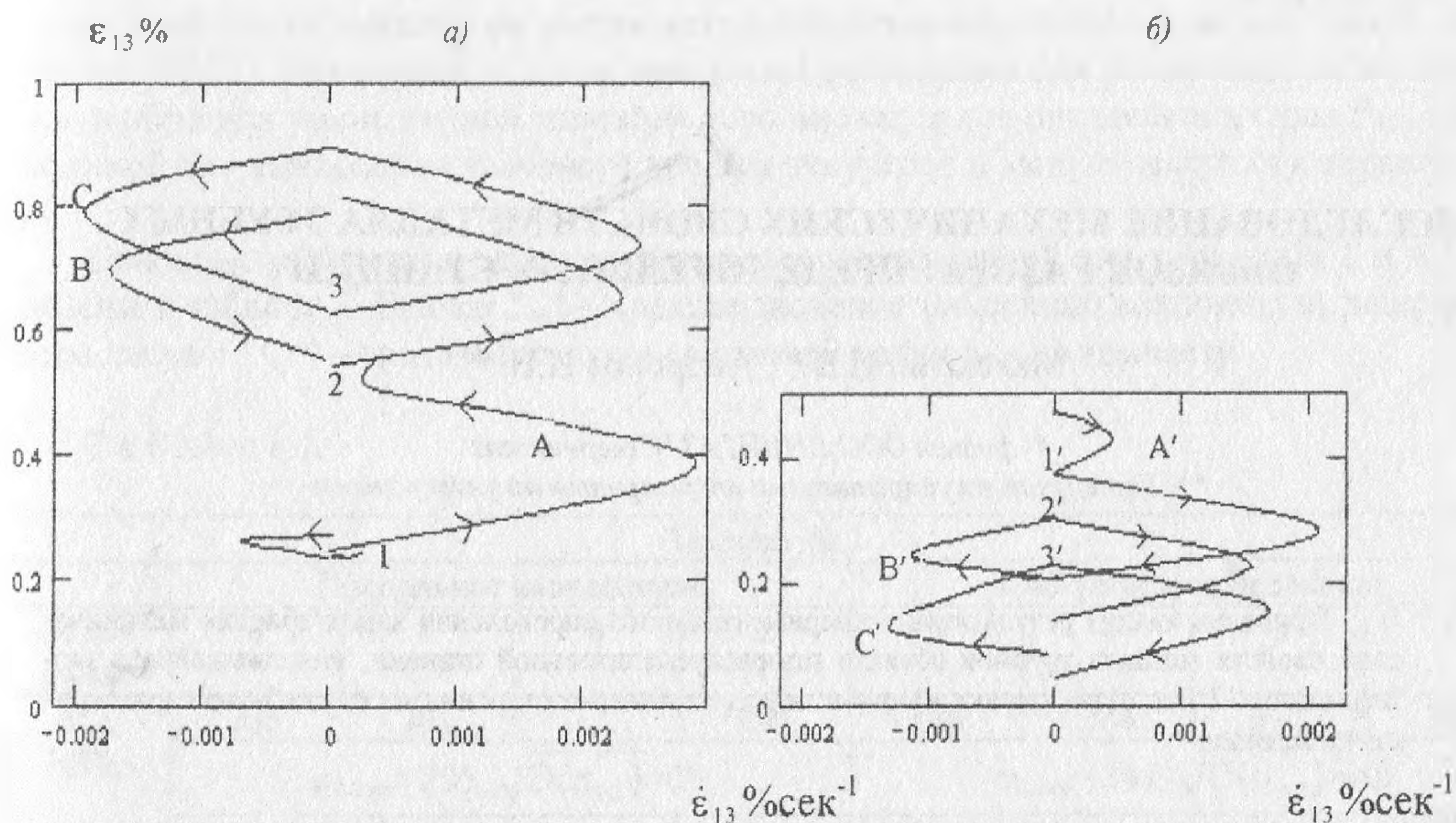


Рис. 2. Фазовые траектории деформирования материала при теплосменах в интервалах ГЦТ \leftrightarrow ГЦК превращения при «прямом» (A, B, C) и «обратном» (A', B', C') нагружениях.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Как при прямом так и обратном нагружениях в первых термоциклах имеет место неравновесный характер деформирования, о чем свидетельствует характер фазовых траекторий (полупетли A и A' на рис. 2, а, б). При последующем термоциклировании фазовые диаграммы принимают практически равновесный вид (петли B, B' и C, C' на рис. 2, а, б). Можно предположить, что при продолжении теплосмен фазовые траектории займут положение некоторого предельного цикла – аттрактора. Это означает, что поведение материалов с мартенситным механизмом неупругости при переходных процессах в условиях реализации циклической памяти формы можно интерпретировать с позиций неравновесной термодинамики.

Список литературы

1. Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л.: Изд. ЛГУ. 1987. 216 с.
2. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. Память формы и пластичность ГЦТ \rightarrow ГЦК превращения в медно-марганцевых композициях // Изв. вузов. Цветная металлургия. 1984. № 2. С. 86 - 91.
3. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. Термоциклическая ползучесть медно марганцевых сплавов, связанная с ГЦК \leftrightarrow ГЦТ превращениями // Изв. вузов. Цветная металлургия. 1983. №3. С. 84-88
4. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. Исследование обратимой памяти формы в сплавах Cu-Mn // Металлофизика. 1984. Т. 6, № 3. С. 44-47.
5. Андронов И.Н., Лихачев В.А. Влияние предварительного термоциклирования на физико-механическое поведение медно-марганцевых композиций в условиях проявления обратимой памяти формы // Известия вузов. Цветная металлургия. 1986. № 2. С. 97 - 102.
6. Андронов И.Н., Лихачев В.А. Циклическая память формы в медно - марганцевых сплавах // Пробл. прочности. 1987. № 2. С. 50 - 54.
7. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно - аналитическая теория прочности. Изд. Санкт-Петербург: Наука. 1993. 471 с.
8. Андронов И.Н., Балдычева И.Е. Изменение кинетики деформирования марганце - медных сплавов в процессе термоциклирования в условиях реализации циклической памяти формы // Научные труды XXXV семинара "Актуальные проблемы прочности" 15 -18 сентября 1999. Псков. Псковский политехнический ин-т СПбГТУ. Т. 1. С. 15 - 18