

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

И. М. РОЙТМАН и Я. Б. ФРИДМАН

О ВЛИЯНИИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ
НА НЕРАВНОВЕСНЫЕ СПЛАВЫ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 8 III 1947)

Под влиянием пластической деформации металлические материалы, как известно, переходят в неравновесное состояние. Такое влияние характерно для большинства металлов и сплавов.

Однако на неравновесные, например, резко закаленные сплавы деформация часто оказывает прогнвоположное действие, способствуя достижению физико-химического равновесия. Благодаря высокой вязкости многие неравновесные сплавы могут оставаться в неравновесном состоянии практически сколь угодно долго при комнатной температуре.

Однократная пластическая деформация постоянного знака, по выражению Э. Бейна, как бы „перемешивающая“ сплав, в ряде случаев вызывает фазовые превращения и распад метастабильных структур: аустенита (1), мартенсита (2) и т. п.

Влияние повторной знакопеременной пластической деформации на превращения в сплавах, по видимому, систематически не изучалось, хотя естественно ожидать, что „перемешивающее“ влияние деформации проявится сильнее при периодической перемене ее знака. Этот вопрос имеет не только чисто научный, но и большой практический интерес ввиду часто встречающихся в технике знакопеременных деформаций.

Нами изучалось влияние повторных знакопеременных деформаций на закаленных и отпущенных при различных температурах сталях Cr—Mn—Si типа 30ХГСА и Cr—Ni—Mo типа 40ХНМА, на алюминиевых сплавах типа дуралюмин и Al—Mg—Zn, сплаве типа В-95 и, для сравнения, на технически чистых железе и меди.

Деформация проводилась путем изгиба и, главным образом, путем кручения. Эти виды испытания были предпочтены другим как позволяющие осуществлять знакопеременные нагружения, идентичные во всем, кроме знака или направления нагрузки. При повторном растяжении—сжатии это осуществить весьма трудно. Более сложные задачи (например, деформирование путем знакопеременного изгиба, а затем испытание путем растяжения) требуют отдельного рассмотрения.

Повторно-переменные нагружения производились двумя способами: до заданной величины нагрузки и до заданной степени деформации.

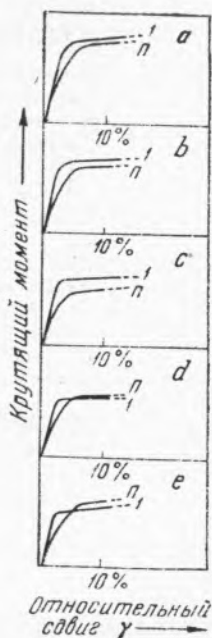


Рис. 1. Характер изменения формы кривой деформации после нескольких повторно-переменных нагружений для стали 30ХГСА. *a* — закалка и отпуск при 20°, *b* — закалка и отпуск при 380°, *c* — закалка и отпуск при 550°, *d* — закалка и отпуск при 700°, *e* — отжиг

Как видно из рис. 1, кривые „напряжение—деформация“ для стали типа 30ХГСА после ряда знакопеременных нагружений (обозначенных буквой П) существенно отличаются от кривых первого нагружения. При температурах отпуска в пределах 220—550° кривые после ряда переменных нагружений проходят ниже исходной кривой, т. е. наблюдается как бы „разупрочнение“ материала. При температуре отпуска 700° исходная и повторная кривые мало отличаются друг от друга.

После отжига при 830° наблюдается в тех же условиях опыта заметное упрочнение, т. е. сталь ведет себя нормально. Сталь 40ХНМА, испытанная в том же интервале отпусков, и после отжига показала аналогичные результаты.

Результаты, показанные на рис. 1 для обеих сталей, наблюдаются в широком интервале величины пластической деформации (относитель-

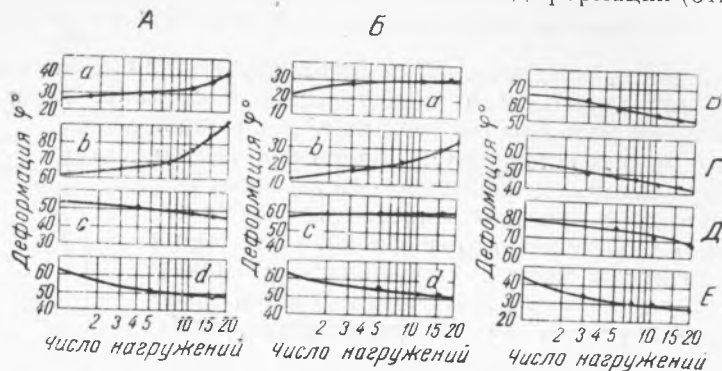


Рис. 2. Характерные случаи зависимости величины деформации после нескольких повторно-переменных нагружений.

А — сталь 30ХГСА: *a* — закалка и отпуск при 220°, $M = 255$ кг·см; *b* — закалка и отпуск при 550°, $M = 155$ кг·см; *c* — закалка и отпуск при 700°, $M = 132$ кг·см; *d* — отжиг при 830°, $M = 75$ кг·см

Б — сталь 40ХНМА: *a* — закалка и отпуск при 200°, $M = 314$ кг·см; *b* — закалка и отпуск при 500°, $M = 180$ кг·см; *c* — закалка и отпуск при 700°, $M = 135$ кг·см; *d* — отжиг при 830°, $M = 93$ кг·см

В — железо армко, отожженное, $M = 28$ кг·см

Г — медь, отожженная, $M = 140$ кг·см

Д — сплав D-1, закаленный и состаренный, $M = 50$ кг·см

Е — сплав В-95, закаленный и состаренный, $M = 75$ кг·см

ный сдвиг γ от 2,5 до 18%). У обеих изученных сталей при 700° наблюдается переходная температура отпуска, при которой „разупрочнение“ переходит в упрочнение.

Предполагая наличие связи между указанным поведением типичных высокопрочных сталей и степенью их неравновесного состояния, мы провели такие же испытания с отожженными железом и медью. При этом оказалось, что эти металлы ведут себя при знакопеременном деформировании так же, как и отожженные стали, т. е. упрочняются.

Алюминиевые сплавы типа дуралюмин и В-95 после закалки и старения ведут себя так же, как и равновесные металлы — железо и медь — в аналогичных условиях опыта.

Следовательно, из всех испытанных материалов только закаленные и отпущенные стали после отпусков при 200—500° (или несколько выше) ведут себя особым образом, т. е. разупрочняются под действием знакопеременных нагружений.

При испытаниях с заданной деформацией это разупрочнение проявляется в последовательном уменьшении нагрузки с ростом числа нагружений. При испытаниях с заданной нагрузкой с ростом числа нагружений требуется все большая степень деформации для дости-

жения заданной нагрузки. Все разобранные случаи показаны на кривых рис. 2, где особое поведение сталей 30ХГСАи 40ХНМА в указанном интервале отпусков весьма заметно.

Рис. 3 показывает две реальные диаграммы, характеризующие принципиальные случаи упрочнения и разупрочнения. Таким образом, по своему поведению метастабильные сплавы, повидимому, делятся на две группы. Одна, к которой относятся закаленные и отпущенные стали, дает вышеописанное явление разупрочнения, другая, к которой относятся закаленные и состаренные алюминиевые сплавы, не показывает принципиальных отличий от поведения чистых металлов и отожженных сплавов, практически находящихся в состоянии физико-химического равновесия.

Заслуживает внимания также тот факт, что обобщенные кривые деформации для растяжения и кручения, близко совпадающие у равновесных структур, сходятся также у закаленных алюминиевых сплавов, но резко расходятся у закаленных и отпущенных сталей ⁽³⁾ примерно

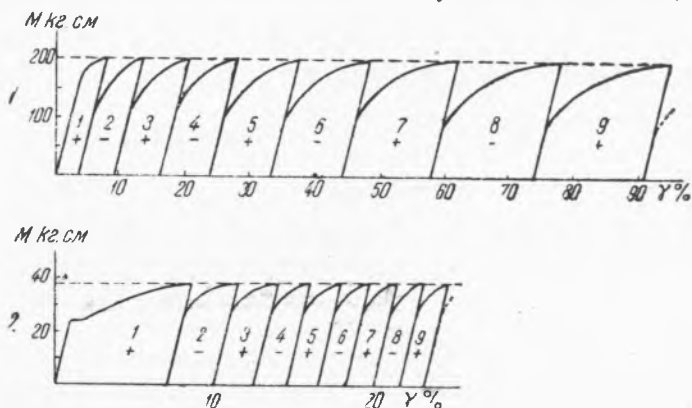


Рис. 3. Изменение формы кривых деформации при повторно-переменном кручении с заданной нагрузкой. 1—сталь 40ХНМА после закалки и отпуска при 500° С, $M_{кр} = 200$ кг·см, 2—железо армко после отжига, $M_{кр} = 38$ кг·см

в том же интервале температур отпуска, в каком наблюдается разупрочнение при знакопеременном деформировании.

Причиной различного поведения двух указанных групп метастабильных сплавов может являться кардинальное различие в изменениях кристаллической решетки при закалке, а именно: у алюминиевых сплавов при закалке сохраняется структура основной решетки, в то время как у изученных нами сталей мы имеем закалку на мартенсит, т. е. в результате закалки не сохраняется кристаллической решетки аустенита, существовавшей при температуре закалки.

Таким образом, следует различать основные закономерности при деформации стабильных металлов (уже установленные рядом исследователей) и закономерности влияния способа нагружения на превращения при деформации. Для понимания поведения высокопрочных сплавов при сложных случаях нагружения необходимо учитывать обе группы закономерностей.

Всесоюзный институт
авиационных материалов

Поступило
8 III 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. В. Акимов, Л. Э. Певзнер, Н. Д. Томашов и Я. Б. Фридман, ЖТФ, 6, № 1 (1936). ² С. Т. Кишкин, Техника воздушного флота, № 11 (1943). ³ Я. Б. Фридман и Т. А. Володина, Зав. лаборатория, № 9—10 (1946).