

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Н. Ф. СЮТКИН

**ТОНКАЯ СТРУКТУРА КРИВЫХ РАСТЯЖЕНИЯ СТАРЕЮЩИХ
СПЛАВОВ В ЯВНО ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 18 II 1954)

Многочисленные факты показывают, что при растяжении некоторых металлов и сплавов в определенных интервалах температуры деформация происходит скачкообразно. Во всех таких случаях диаграммы имеют (в явно пластической области) зубчатое, пилообразное строение кривой растяжения. Считается, что скачкообразная деформация наиболее резко выражена у сплавов, представляющих собой пересыщенные твердые растворы, при деформировании их в области температур, соответствующей интенсивному распаду ⁽¹⁾. Поэтому можно думать, что при деформации пересыщенных твердых растворов мы имеем наложение двух взаимодействующих процессов: собственно пластической деформации и фазового превращения.

Выпадающая фаза сама создает внутри твердого раствора неоднородные напряжения, возникающие вследствие различия в удельных объемах. Эти напряжения, так же как внешнее приложенное напряжение, способствуют дальнейшему распаду пересыщенного твердого раствора и росту уже выделившихся частиц. Согласно взглядам С. Т. Конобеевского, выделившиеся центры кристаллизации испытывают действие одних только нормальных напряжений, в решетке же твердого раствора вблизи частиц развиваются кроме того скалывающие напряжения, которые могут вызвать при достаточной их величине пластическую деформацию ⁽²⁾.

Взаимодействие такого фазового превращения с пластической деформацией должно привести к возможности использования пересыщенного состояния твердого раствора в качестве фактора, повышающего чувствительность экспериментальной методики. Уже давно известно, что кривая растяжения весьма чувствительна к структуре и состоянию деформируемого материала. Поэтому можно было ожидать, что наличие взаимодействия фазового превращения с пластической деформацией позволит установить некоторые детали на кривой растяжения и уточнить существующие представления о механизме пластической деформации.

Проведенное нами исследование изменения механических свойств старящегося сплава цинк — алюминий (20% Al) под нагрузкой позволило наблюдать тонкую структуру диаграмм растяжения не только на начальном прямолинейном восходящем участке ⁽³⁾, но и в явно пластической области в условиях различных скоростей деформирования и в широком интервале температур.

Испытанию подвергались образцы в виде проволок (диаметр образцов 2 и 2,3 мм, расчетная длина 30 и 35 мм) как закаленные, так и подвергнутые старению. Закалка производилась от 375° в воду комнатной температуры (15°). Старение сплава проводилось при ступенчато понижающейся температуре. С понижением температуры отжига время

выдержки увеличивалось. Суммарное время старения было 250 час. Испытания проводились на машине Урал. ФТИ⁽⁴⁾ при скоростях деформирования $2 \cdot 10^{-4}$ и $2 \cdot 10^{-2}$ см/сек и при температурах 0, 20, 100, 150, 200, 250, 300, 350 и 375°.

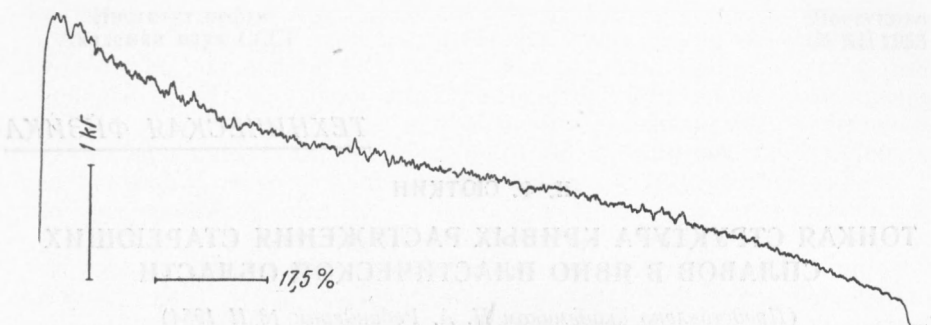


Рис. 1. Кривая растяжения закаленного образца при температуре 250° и скорости деформирования $2 \cdot 10^{-2}$ см/сек. $\times 3$

Температура поддерживалась терморегулятором системы П. Г. Стрелкова с точностью $\pm 1^\circ$. При каждой температуре и скорости деформирования, как правило, растягивалось не менее 3 образцов. Диаграмма

записывалась световым зайчиком на осциллографную бумагу или фотопластинку.

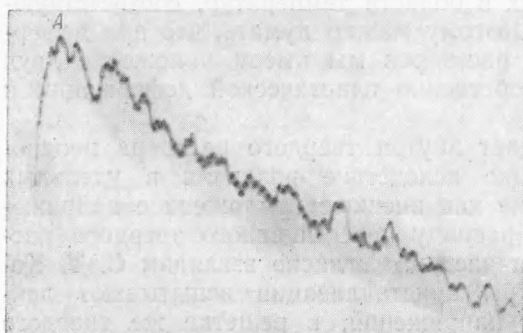


Рис. 2. Участок кривой растяжения закаленного образца при температуре 250° и скорости деформирования $2 \cdot 10^{-2}$ см/сек. $\times 3$

Ранее нами было показано⁽³⁾, что при очень слабой интенсивности светового зайчика прямолинейный восходящий участок диаграммы или совсем не записывается, или на нем заметно небольшое число «точек» со слабой интенсивностью почернения. В этом случае на участке кривой, соответствующем области пластической деформации, отчетливо фиксируется тонкая структура кривой растяжения.

На рис. 1 приведена фотография одной из диаграмм растяжения, полученных при деформировании закаленных образцов. На рис. 2 приведена фотография части той же диаграммы при 3-кратном увеличении.

Из этих рисунков видно, что зубцы в пластической области растяжения имеют в большинстве случаев сложный характер. Каждый сложный зубец представляет собой ряд отдельных «точек» — скачков, расположенных то по восходящей, то по нисходящей его части. Ниспадающие части зубцов идут более полого, чем восходящие. В дальнейшем мы будем называть обычно наблюдаемые скачки «простыми» зубцами, а зубцы, состоящие из отдельных скачков, — «сложными».

Для образцов в закаленном состоянии сложные зубцы появляются при деформировании в области температур от 0 до 300°, а для состаренных — от 150 до 300°.

Рассматриваемый участок диаграммы растяжения, расположенный между максимумом усилия и началом резкого спада его, отвечает области значительных (локальных) деформаций, а также высоких значений внешних напряжений. В этих условиях имеет место усиленное зарождение и рост частиц фазы выделения. В результате этого к концу скачка,

соответствующего вершине зубца А (см. рис. 2), в образце возникает достаточное число центров кристаллизации фазы выделения, возле которых скалывающие напряжения в той или иной мере близки к критическим.

Самое малое повышение нагрузки вызывает новый скачок, в первой стадии которого, вследствие перераспределения напряжений, число частиц, возле которых напряжения достигают величины критического скалывающего напряжения, возрастает лавинообразно. В дальнейшем такие скачки будем называть «лавинообразными».

Возникновение лавинообразного скачка вызывает увеличение пластической деформации, сопровождающееся большим спадом сопротивления деформированию и растягивающей силы. Последнее обстоятельство и обуславливает более пологий наклон нисходящих участков зубцов.

К концу лавинообразного скачка в образце снова имеется достаточное число центров кристаллизации выделяющейся фазы, возле которых скалывающие напряжения близки к критическому. В результате этого при небольшом возрастании нагрузки возникает новый скачок.

Такой процесс повторяется до тех пор, пока возникновение и разрядка опасных напряжений не закончатся. После этого внешнее усилие снова растет и начинается восходящая часть нового зубца.

С повышением температуры деформирования распад ускоряется, т. е. возникает и растет больше центров кристаллизации фазы выделения. Это вызывает значительное увеличение числа сложных зубцов, а соответственно и лавинообразных скачков.

В области температур растяжения от 100 до 270°, т. е. когда происходит интенсивный распад пересыщенного твердого раствора в процессе деформирования, число сложных зубцов на диаграмме резко возрастает. Иначе говоря, имеет место значительный рост полного удлинения образца. Это позволяет объяснить разупрочнение и высокую пластичность («сверхпластичность») рассматриваемого материала, а также изменения механических свойств как результат взаимного влияния процессов распада пересыщенного твердого раствора и пластической деформации.

Приведенные выше соображения позволяют объяснить скачкообразную деформацию и изменение механических свойств моно- и поликристаллических тел, не являющихся пересыщенными твердыми растворами, в случае наличия в них каких-либо неоднородностей, играющих роль, аналогичную частицам выпадающей фазы.

Уральский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
9 XI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. Н. Колесников, Э. С. Яковлева, М. В. Якутович, ЖТФ, 19, в. 3, 347 (1949). ² С. Т. Конобеевский, ЖЭТФ, 13, 418 (1943). ³ Н. Ф. Сюткин, ДАН, 91, № 1, 83 (1953). ⁴ В. С. Аверкиев, Г. Н. Колесников, В. А. Павлов, М. В. Якутович, ЖТФ, 16, в. 11, 1349 (1946).