

А. А. ПРЕСНЯКОВ

ИСТИННАЯ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

(Представлено академиком А. А. Бочваром 15 XII 1970)

Явление сверхпластичности цинк-алюминиевых сплавов, обнаруженное А. А. Бочваром и Э. А. Свицкерской⁽¹⁾, стало предметом самых тщательных исследований⁽²⁻⁶⁾, материалы которых были обобщены автором в⁽⁷⁾, где высказано предположение, что при развитии этого эффекта металлическое вещество переходит в особое состояние, названное квазижидким. В последнее время мы выполнили несколько исследований^(8, 9), которые дают новые сведения о закономерностях перехода металлов и сплавов в состояние сверхпластичности. Наиболее интересные данные были получены при изучении истинных напряжений течения образцов сверхпластичных материалов⁽⁸⁾. Оказалось, что эффект сверхпластичности развивается, по меньшей мере, в две стадии (рис. 1). В первый период растяжения сплавы деформируются с упрочнением, хотя и малым, которое отражается в росте напряжения σ течения, имеющем во времени осциллирующий характер. Этот период сверхпластичности, когда сопротивление деформированию оказывается достаточно заметным, но меньшим на порядок по сравнению с обычными сплавами, продолжается относительно долго, удлинение образцов δ при этом может достигать 100—400% при отсутствии шейки, высокой равномерности деформации, т. е. при наличии всех признаков в сверхпластичности. Затем внезапно при отсутствии каких-либо скачкообразных измерений формы или размеров образца, при текущей деформации, равной по сужению 0,8—0,98, по удлинению — порядка 100—400%, происходит переход ко второму периоду сверхпластичного течения, когда напряжения течения падают до значений, измерение которых существующими приборами невозможно — они близки к нулю. Нами были созданы специальные высокочувствительные разрывные машины, однако и с их помощью измерить нагрузки при деформации не удалось. В настоящее время можно сказать только, что истинные напряжения течения оказываются менее 0,025 кГ/мм². Разупрочнение в этом случае носит чисто физический характер, так как не сопровождается какими-либо изменениями формы или размеров образца. Этот период был назван нами периодом истинного сверхпластичного течения.

При изучении свойств бескислородной меди и α -латуней, в особенности при исследовании влияния предварительной пластической деформации на эти материалы, был неожиданно открыт эффект сверхпластичности^(10, 11). В этих материалах обнаружилось, что после определенного холодного или горячего наклепа латуни и медь оказываются сверхпластичными при строго фиксированных температурах, в данном случае около 800—850° С. Удлинение достигает при этом 150—180% со всеми признаками этого необычного явления (равномерная деформация, отсутствие шейки, аномальное понижение сопротивления деформированию). Такой же эффект был открыт на никеле⁽¹²⁾. При дальнейшем изучении влияния предварительной деформации на металлы он был обнаружен у алюминия, олова, свинца и никеля^(13, 16-18).

Изучение свойств свинца и алюминия дало совершенно неожиданные результаты и в случае отсутствия у образцов первого периода сверхпластичности.

тичности. Оказалось, что у металлов, деформирующихся при растяжении обычным путем с возникновением шейки, в некоторых случаях процесс завершается развитием истинной сверхпластичности: в шейке начинает проявляться равномерное течение металла, местное удлинение шейки достигает 150—200%, а сопротивление деформированию падает до величин, практически не поддающихся замерам (ниже $0,025 \text{ кг/мм}^2$). Таким образом, истинная сверхпластичность возникает в некоторых случаях и при

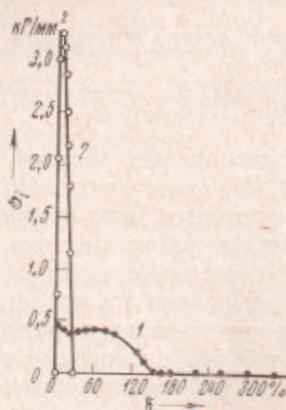


Рис. 1. Кривые течения электрода алюминий — цинк: 1 — в сверхпластичном состоянии, 2 — в обычных условиях

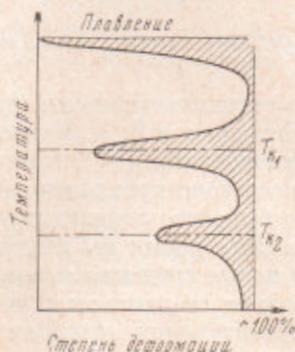


Рис. 2. Вероятностная кривая возникновения эффекта сверхпластичности в зависимости от температуры и наклепа

растяжении обычных металлов. Правда выяснилось, что ее возникновение проявляется только в очень узких температурных интервалах, другими словами при строго фиксированных температурах. Принимая во внимание работы (14) и наши (10, 11) по меди, следует отметить, что причиной возникновения сверхпластичности также является развитие особого рода превращений (15). Следовательно, подтвердилось наше мнение, что причиной развития сверхпластичности является суперпозиция процессов деформации и превращений в металлах и сплавах (17). Самым интересным оказалось то, что при развитии истинной сверхпластичности показатели сопротивления деформированию не зависят от природы металлов или сплавов и во всех случаях находятся не выше $0,025 \text{ кг/мм}^2$.

Явление сверхпластичности при растяжении чистых металлов носит статистический характер, т. е. оно может возникнуть, а может и не проявиться по причинам, которые нам пока неизвестны. Однако, если оценить вероятность появления эффекта у чистых металлов и сплавов после предварительной деформации в зависимости от текущего наклепа и температуры, то она будет выражаться кривой с несколькими максимумами (рис. 2), которые соответствуют строго определенным температурным точкам, являющимся критическими для электронно-конфигурационных превращений (11). (В последнее время появились работы, говорящие о возможности упорядочения электронов в металлах и сплавах, носящие характер фазового перехода (18)).

Таким образом, результаты последних исследований позволили нам разделить эффект сверхпластичности на два, один из которых, связанный с превращениями, сводится к резкому увеличению равномерной деформации, отсутствия шейки и понижением напряжений течения приблизительно на порядок по сравнению с обычными сплавами. Он назван нами обычной сверхпластичностью. Второй эффект, возникающий после очень боль-

ших текущих деформаций, связан с чрезвычайно сильным понижением напряжений течения, приблизительно на два порядка по сравнению с деформацией обычных сплавов, и развивается после получения значительной степени метастабильности посредством предварительной и текущей деформации. Последний эффект может развиваться на заключительной стадии растяжения и у образцов, обнаруживающих шейку. Следовательно, наше предположение о возможности возникновения у металлов и сплавов при деформации квазижидкого состояния (⁷) нашло экспериментальное подтверждение.

Причиной развития истинной сверхпластичности мы считаем переход металлов и сплавов в новое состояние, очень близкое по природе к жидкости. Физическая сущность этого эффекта сводится, по нашему мнению, к «замыканию» металлических сил связи между атомами внутри ограниченных объемов при слабых взаимодействиях между этими объемами, как это имеет место в «жидких кристаллах» или в жидкости вблизи точки плавления (¹⁹). Таким образом, представления Френкеля (²⁰) о строении жидкости вблизи точки плавления следует распространить и на температуры ниже этой точки, когда плавление только подготавливается. Другими словами, в случае сверхпластичности мы имеем дело с разделением единого электронного коллектива в твердом теле на ряд «коллективчиков», слабо связанных друг с другом, а поэтому очень подвижных друг относительно друга.

Очевидно, что переход из обычного состояния вещества в это необычное имеет сложный характер и заключается в аккумулировании энергии деформации в малых областях решетки, спонтанное выделение которой и вызывает разупрочнение образцов при растяжении. В этом случае, когда размер зерна становится сравним с величиной областей, где происходит аккумулирование энергии, ее рассеяние в решетке становится невозможным, что и вызывает развитие своеобразной цепной реакции перехода в новое состояние, которое проявляется при деформации как сверхпластичность. Естественно, что без накопления энергии не может быть и развития этого эффекта. Аккумулирование энергии в образце — это и есть возникновение метастабильности, которое является необходимым условием развития сверхпластичности (⁷). Рост величины зерна при этом экспериментально хорошо известна (¹⁻⁴, ⁸).

Институт ядерной физики
Академии наук КазССР
Алма-Ата

Поступило
12 XII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Бочвар, З. А. Свидерская, Изв. АН СССР, ОТН, № 9 (1945).
² F. Sauerwald, Arch. Metallkunde, 3, 165 (1949). ³ H. Mitbauer, F. Sauerwald, Zs. Metallkunde, 43, 244 (1952). ⁴ W. Schultze, F. Sauerwald, Zs. Metallkunde, 53, 660 (1962). ⁵ W. A. Backofen, J. R. Turner, D. A. Avery, Transaction of the ASM, 57, 980 (1964). ⁶ T. H. Alden, Acta Met., 15, 3, 469 (1967). ⁷ А. А. Пресняков, Сверхпластичность металлов и сплавов, Алма-Ата, 1969. ⁸ Р. К. Аубакирова, А. А. Пресняков, Изв. АН СССР, Металлы, № 6, 141 (1969). ⁹ Р. К. Аубакирова, А. А. Пресняков, А. Н. Карпенюк, Тр. Инст. ядерной физ. АН КазССР, 11, Сборн. Свойства цветных металлов и сплавов, 1970, ВИНТИ, 1334—70 ДЭП. ¹⁰ А. Я. Часников, А. А. Пресняков, О сверхпластичности наклепанных α -латуней, М., 1334—70 ДЭП. ¹¹ А. Я. Часников, В. В. Червякова, О сверхпластичности деформированных α -латуней. Тр. Инст. ядерной физики АН КазССР, № 12 (1971). ¹² S. Flögee, Superplasticity in Pure Nickel Scripta Metallurgica, 1, № 1, 19 (1967). ¹³ Н. Я. Соймин, Р. К. Аубакирова, А. А. Пресняков, Изв. АН КазССР, № 4 (1970). ¹⁴ М. И. Кочнев, Изв. АН СССР, ОТН, № 12 (1956). ¹⁵ Г. Л. Краско, Физ. мет. и металловед., 20, в. 3, 321 (1965). ¹⁶ К. А. Пресняков, Р. Б. Алиманова и др., Тр. Совещ. Структура и свойства жаропрочных сплавов, М., 1970. ¹⁷ В. И. Бок, А. А. Пресняков, Сборн. Свойства цветных металлов и сплавов, ВИНТИ, № 1334—70—ДЭП, 1970. ¹⁸ Р. К. Аубакирова, Л. Я. Кагасова и др., там же. ¹⁹ И. Г. Чистяков, Жидкие кристаллы, «Наука», 1966. ²⁰ Я. И. Френкель, Кинетическая теория жидкостей, Изд. АН СССР, 1945.