



УДК 669.17-12.669.11.539.14

Феноменология сверхпластичности и ее связь с исходной микроструктурой

Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

И.Н. Нугманов, Х.Х.Бобоев, И.Ч.Жўракулов, Б.А. Абдурафиқов

Аннотация

Первое упоминание об аномально большой деформации до разрушения (2000%) сделано в 1934 г. Пирсоном, исследовали деформацию эвтектических сплавов Pb-Sn и Bi-Sn при комнатной температуре. На ряду с высокой пластичностью автор отметил другой феномен-после деформации зерна в структуре образца остались равноосными. Несмотря на уникальность этого эффекта, на западе на него практически не обратили внимания много позже, в 1945 А.А.Бочвар и З.А.Свдверская опубликовали подобные эксперименты на сплаве Zn-22 Al, назвав этого явления сверхпластичностью. В данной статье рассмотрены вопросы феноменология и природа механизмов сверхпластической деформации.

Ключевые слова: феномен, сверхпластичность, внутренней структуры, мелкозернисть, квазиоднофазный, рекристаллизации.

Феноменологически сверхпластичность — это способность поликристаллических материалов к большим пластическим деформациям без нарушения внутренней структуры и сплошности, проявляющаяся при повышенных температурах, под действием относительно малых постоянных напряжений, сильно зависящих от скорости деформации.

Основные феноменологические особенности сверхпластичности заключаются в следующем:

- сверхпластичность (СП) реализуется в материалах с равноосной мелкозернистой структурой ($d < 10 \mu\text{м}$), которая остается практически неизменной в ходе деформации;
- удлинения до разрушения δ в условиях СП достигают нескольких сотен и даже тысяч процентов (рис.1);





Рис.1 Образец сплава Zn-22% Al растянут до и после испытаний в условиях сверхпластичности на 1900 %.

- температура деформации (0,4...0,8) Тпл (Тпл - температура плавления материала);
- напряжения, необходимые для деформации сверхпластичных материалов, существенно ниже, чем для тех же материалов в крупнозенистом состоянии при тех же внешних условиях.
- максимальное удлинение образцов достигается в узком интервале.

Феноменологические особенности поведения в условиях сверхпластической состоянии подробно описаны в ряде монографии и обзоров[1-5].

Феноменология процесса было подробно рассмотрена Хартом в работах[6] в связи с явлением необычайной стабильности течения при растяжении в условиях сверхпластичности. Анализ причин такой устойчивости при деформации в изотермических условиях приводит к следующей зависимости напряжения течения от степени и скорости деформации, которая для изотермических условий имеет вид:

$$\sigma = A \cdot \epsilon^n \cdot \dot{\epsilon}^m \quad (1)$$

Где A-эмпирическая константа;

n,m - параметры материала, определяющие зависимость упрочнения от степени из скорости деформации.

Для материалов со слабой зависимостью напряжения течения от скорости деформации, параметр, деформационного упрочнения определяется как

$$n = \frac{d \lg \sigma}{d \lg \epsilon}$$

Для материалов, слабо упрочняющихся при деформации выражение принимает вид:

$$\sigma = A \cdot \dot{\epsilon}^m \quad (3)$$

и параметр скоростного упрочнения определяется как

$$m = d \lg \sigma / d \lg \dot{\epsilon} \quad (4)$$

Значение показателя m определяют разных разными методами: скачкаобразным изменением скорости деформации (с одновременным изменением усилия), методом релаксации напряжения и непосредственно по наклону кривой графике

$$d \lg \sigma / d \lg \dot{\epsilon} \quad (5)$$

Исследование механических свойств сплавов, испытанных в различных условиях, убедительно показывает отличие СП течения от обычной пластической деформации.

Наиболее существенное отличие обычной деформации от сверх- пластичности состоит в том, что при обычной деформации напряжения течения сильно зависит от



степени деформации и относительно слабо от скорости деформации. В условиях СП наоборот: напряжение течения слабо зависит от степени деформации, но сильно от скорости деформации. На этом основании структурную сверхпластичность можно определить как способность металлов и сплавов к большим пластическим деформациям без разрушения в условиях высокой скоростной чувствительности напряжения течения [7].

Скоростная зависимость механических свойств СП сплавов также резко отличается от обычной деформации (рис.2)

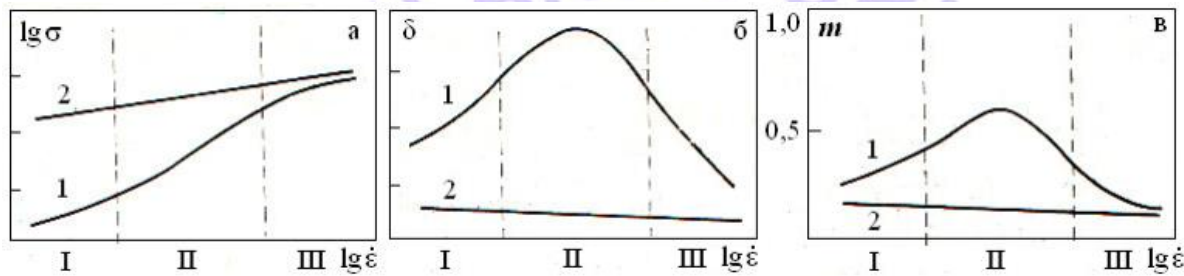


Рис.2. Типичные зависимости напряжения течения σ (а), относительного удлинения до разрушения δ (б) и показателя скоростной чувствительности m (в) сплавов в СП (1) и обычным (2) состоянием [7]. I-III- характерные интервалы скорости деформации.

Устойчивость СП течения можно объяснить следующим образом. Если на растягиваемом образце появилось случайное сужение (шейка), то в этом месте локально повышается скорость деформации. При высоком значении показателя m увеличение скорости вызывает значительное повышение напряжения, что затрудняет деформацию в шейке и перераспределяет ее на другие участки образца. Иначе говоря, осуществляется саморегулирование течения, которое тем эффективнее, чем выше значение показателя m .

Для изучения любого явления очень важно найти удачную модель или модельный материал, на котором в достаточно простых условиях можно проследить все основные закономерности явления. Для изучения физической природы сверхпластичности в этом смысле благодатными оказались сплавы Zn-22%Al и Zn-0,4%Al. Первый – типичный двухфазный сплав с дуплексной структурой проявляет сверхпластические свойства при температуре 250°C, второй – квазиоднофазный, сверхпластичный при комнатной температуре. Вместе они позволяют смоделировать поведение двух важнейших классов материалов, а низкая температура сверхпластичности существенно упрощает экспериментальные наблюдения. Изучение природы деформации следует начинать с подробного анализа диаграмм растяжения, которые весьма специфичны для СП материалов. На рис. 52 показаны типичные диаграммы растяжения сверхпластичного сплава Zn-22%Al для трех интервалов скорости. На диаграммах растяжения можно выделить



две характерные стадии: I- стадия интенсивного упрочнения $\varepsilon = 3 \dots 10\%$, II- стадия относительно стабильного течения ($\varepsilon > 10\%$). Протяженность каждой стадии и соответствующие им напряжения течения зависят от скорости нагружения. Протяженности первой стадии для разных скоростей деформации обозначены цифрами 1, 2, 3.

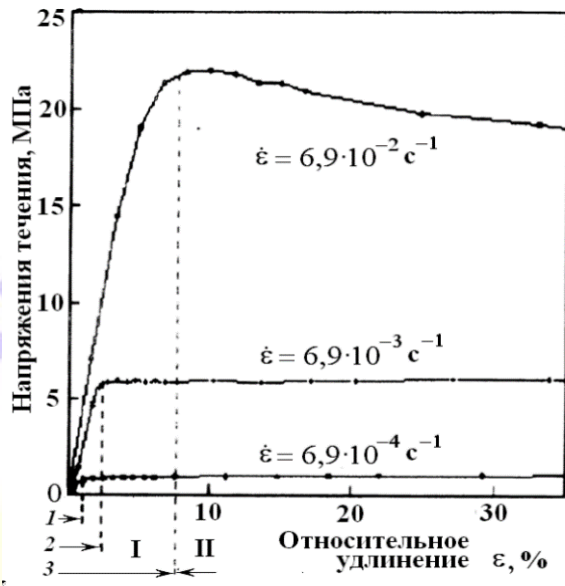


Рис.3. Две стадии на диаграммах растяжения сплава Zn-22%Al при 250°C

На I стадии зона упругости экспериментально не обнаруживается.

Пластическое течение начинается при очень малом напряжении, которое быстро возрастает приблизительно до 5,0 МПа (оптимальная скорость) по нелинейному закону. На II стадии приблизительно от 10% до 100% деформации напряжение течения не меняется, если не изменяется размер зерна, либо слабо увеличивается в случае роста зерен. При низкой скорости нагружения обычно наблюдается слабое деформационное упрочнение, а при высоких скоростях разупрочнение, характерное для протекания динамической рекристаллизации.

Литература

1. Грабский М.В. Структурная сверхпластичность металлов:Перспольк. М: Металлургия 1975.270с ил.
2. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов М.Металлургия.1975.280с ил.
3. Edington J.W.,Melton K.N.,Cutler C.P. Program. Mat. Sci. 1976, V.21.N:2.P.61-158.
4. Тиханов А.С. Эффект сверхпластичности металлов и сплавов. М:Наука 1978г.141с ил.
5. Новиков И.И., Портной В.К. Сверхпластичность сплавов с ультрамелким зерном. и.Металлургия.1981 157 с ил.



6. Hart E.W. Theory of the tensile test//Acta Met.-1967-V.15,N.2-P.351-355.
7. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов. Москва. М.Металлургия.1984. 262с ил.
8. Строганов Г.Б., Кайбышев О.А., Фаткушин О.Х., Мартынов В.Н. Сверхпластичность и износостойкость в машиностроении. "Альтекс" Москва, 2002 г.

