

ЭФФЕКТЫ СВЕРХВЫСОКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ В АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВОМ СПЛАВЕ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРУЖЕНИЯ И АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ

Макаров С.В., Плотников В.А.

*Алтайский государственный университет, Барнаул
makarov@phys.asu.ru*

Некоторые экспериментальные и теоретические результаты в области структурной сверхпластичности свидетельствуют о возможности достижения больших степеней деформации в материале без предшествующей подготовки ультрамелкозернистой структуры. Так в работе [1], наличие исходной равноосной ультрамелкозернистой структуры не является как достаточным, так и обязательным условием перевода материала в сверхпластичное состояние. Типичной иллюстрацией сказанного может служить [2] случай сверхпластического деформирования крупнозернистого алюминия (размер зерна 130 мкм), реализуемый при кручении и растяжении. Появления сверхпластичности в монокристаллах [3] также обращает внимание исследователей на существующие критерии сверхпластичности.

С точки зрения классического подхода в определении сверхпластичности наиболее критическим является температурный фактор. Если придерживаться известного в теории определяющих соотношений принципа детерминизма [4, 5], то следует допустить существование критических температурных точек перехода материала в сверхпластическое состояние. Наложение напряжений приводит к появлению вблизи критических точек ограниченной области температур, соответствующей переходному процессу из одного структурно устойчивого состояния к другому.

Наибольшее количество исследований посвящено микрозернистой сверхпластичности. В то же время известно, что многие металлические крупнокристаллические материалы проявляют сверхпластические свойства при определенных температурно-скоростных условиях.

Исследование закономерностей сверхвысокой пластичности крупнокристаллического алюминиево-магниевого сплава в условиях термомеханического нагружения в мягкой схеме является актуальным и рассматривается в этой работе.

Методика экспериментов

Для исследования больших пластических деформаций и акустической эмиссии была использована так называемая мягкая схема нагружения, которая позволила фиксировать деформацию при пластическом течении как функцию параметров силового воздействия в условиях высоких температур. Реализованная в эксперименте схема сдвигового нагружения, позволила провести исследования накопления деформации в материале без существенного изменения поперечного сечения и формы деформированных образцов. Механическое нагружение, измерение сдвиговой деформации, температуры и среднеквадратичного напряжения акустической эмиссии проводили с помощью лабораторной установки, описание которой приведено в работе [6].

Образцы вырезали из пластины в виде стержней длиной 300 мм, в которых были сформированы области локализации деформации диаметром 4 мм и длиной 30 мм. Образцы предварительно отжигали при температуре 500 °С в течение 1 часа и охлаждали с печью. Термомеханическое нагружение алюминиево-магниевого сплава проводили в двух режимах: изотермическом – температура оставалась постоянной, нагрузка менялась; неизотермическом - в цикле температура изменялась в интервале 25 – 500 °С, а нагрузка - фиксировалась. Нагрев образца осуществлялся в области локализации деформации, остальную часть стержня не нагревали, она выполняла роль волновода.

Экспериментальные результаты и обсуждение

Характерные экспериментальные данные по накоплению деформации, акустической эмиссии и механическому напряжению в условиях нагрева при постоянной нагрузке (147 МПа) приведены на рис. 1. Накопление деформации ε при нагреве образца до 450 °С и действии нагрузки осуществляется в двух температурных интервалах: низкотемпературном (область 1, $\varepsilon = 2\%$) – до 350 °С и высокотемпературном (область 2, $\varepsilon = 30\%$) – 350-450 °С, а $v_2/v_1 \sim 100$, где v_1, v_2 скорости накопления деформации в областях 1 и 2 соответственно.

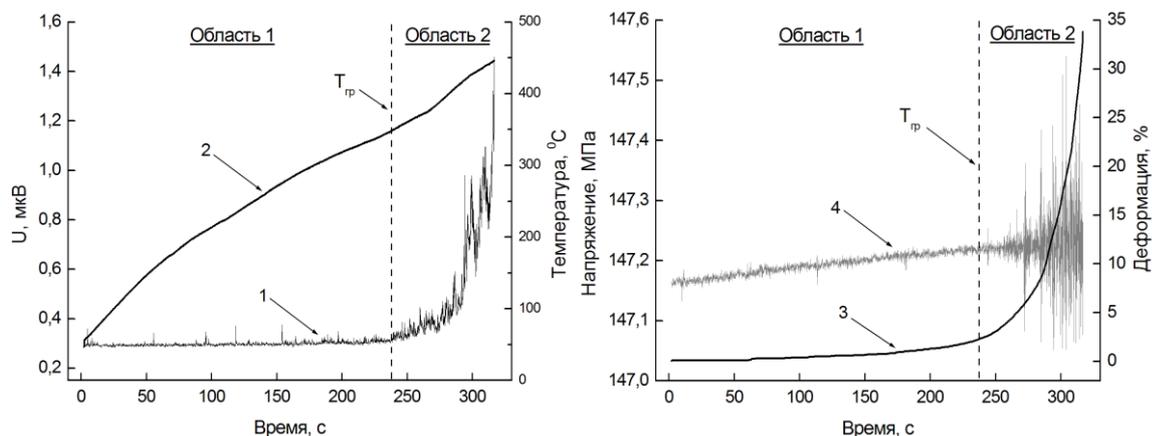


Рисунок 1 - Акустическая эмиссия (1), температура (2), деформация (3) и механическое напряжение (4) при нагреве алюминивно-магниевого сплава при постоянной нагрузке 147 МПа.

В высокотемпературной области 2 механическое напряжение начинает осциллировать (рис. 1б, зависимость 4), а амплитуда осцилляций хорошо коррелирует со скоростью накопления деформации. Осцилляции механического напряжения согласно [7] есть реакция системы машина-образец на скачки деформации, то есть наблюдаемый в экспериментах квазискачкообразный характер накопления деформации действительно представляет последовательность деформационных скачков разделенных малыми монотонными промежутками.

Амплитуда скачков и длительность монотонных участков существенно зависят от температурно-силовых параметров в цикле термомеханического нагружения. Величина накопленной деформации в образцах (в области 2) до разрушения в условиях изотермического и неизотермического нагружения составляет более 150 %.

Выше критической температуры $T_{кр}$ в области 2 амплитуда осцилляций увеличивается, как и среднеквадратичное напряжение акустической эмиссии, при повышении температуры. Возрастание среднеквадратичного напряжения акустической эмиссии свидетельствует о существенном увеличении колебательной энергии акустической эмиссии в деформируемом объеме образца. Как было показано, накопление колебательной энергии в объеме деформированного материала может осуществляться только за счет формирования стоячих волн на естественных резонаторах [8].

Переход к высокодеформированному состоянию в алюминивно-магниево-сплаве при достижении критической температуры ($T_{кр}$) в неизотермических циклах осуществляется как результат совместного действия термических флуктуаций, механических напряжений и колебательной энергии акустической эмиссии в элементарном деформационном акте. Переход от монотонного накопления деформации (рис. 1, рис. 2, область 1) с низкой скоростью к скачкообразному (квазискачкообразному) (область 2) с высокой скоростью можно рассматривать как деформационный структурный переход в состояние сверхвысокой пластичности материала (больших пластических деформаций).

Заключение

Осциллирующий характер силового отклика после деформационного структурного перехода, то есть при достижении температурно-силовых параметров и колебательной энергии акустической эмиссии критических значений, свидетельствует о переходе к скачкообразному процессу накопления деформации в высокотемпературной области. Периодичность (квазипериодичность) процесса накопления обусловлено быстрыми процессами упрочнения разупрочнения структуры деформируемого материала. Процесс упрочнения характеризуется увеличением плотности структурных дефектов. Параллельно с процессом упрочнения происходит разупрочнение (динамический возврат), обусловленное неустойчивостью дефектной (дислокационной) структуры и стремлением системы к минимуму внутренней энергии [9].

Литература

1. Кайбышев, О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов / О.А. Кайбышев. – М.: Металлургия, 1984. – 280 с.
2. Рудаев, Я.И. Основные пути использования сверхпластичности металлов в современной технике и технологии / Я.И. Рудаев, Д.И. Чашников // Судостроительная промышленность, серия металловедение, металлургия. – 1987. – Вып. 6. – С. 40–48.
3. Золотаревский, Ю.С. Сверхпластичность некоторых алюминиевых сплавов / Ю.С. Золотаревский, В.А. Папяев, Я.И. Рудаев и др. // Судостроительная промышленность, серия материаловедение. – 1990. – Вып. 16. – С. 21–26.
4. Лихачев, В.А. Сверхпластичность крупнозернистых поликристаллов алюминия при растяжении В.А. Лихачев, М.М. Мышляев, О.Н. Сеньков // Проблемы прочности. – 1987. – №8. – С. 40–41.
5. Бережкова Г.В. Сверхпластичность монокристаллов Г.В. Бережкова, В.Р. Регель, Л.В. Салков // ДАН СССР. – 1988. – Т. 303. – №1. – с. 102–104.
6. Макаров С.В., Плотников В.А. // Деформация и разрушение материалов. 2015. № 10. С. 21-25.
7. Шибков А.А., Золотов А.Е., Желтов М.А., Гасанов М.Ф., Денисов А.А. // ЖТФ, 2014. Т. 84. №4. С. 40-46.
8. Макаров С.В., Плотников В.А., Потекаев А.И. // Известия вузов. Физика. 2014. №7. С. 81-86
9. Лубенец С.В. // ФТТ. 2002. Т.44. вып.1. С.72-77