

(б).

Таким образом показано что разработанный критерий разрушения в рамках микроструктурной модели способен описывать усталостное разрушение СПФ при различных режимах термоциклирования и механоциклирования. Данный критерий может быть использован при расчетах усталостной прочности СПФ и прогнозирования срока службы элементов из этих сплавов, а также для выбора оптимальных параметров рабочего цикла и предварительной тренировки сплава, обеспечивающих требуемый срок службы рабочих элементов из СПФ в различных устройствах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-01-00594.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Volkov A.E., Belyaev F.S., Evard M.E., Volkova N.A. MATEC Web of Conf. 2015. V. 33. Art. 03013 (5 pages).
2. Беляев С.П., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А., Ковалев С.М. Физика металлов и металловедение. 1987. Т. 63. Вып. 5. С. 1017–1023.
3. Miyazaki S., Mizukoshi K., Ueki T., Sakuma T., Liu Y. Mater. Sci. Eng. 1999. V. A273–275. P. 658–663.
4. Андреев В.А., Евард М.Е., Бондарев А.Б., Хусаинов М.А. Вестник Новгородского государственного университета. 2007. № 44. С. 4–8.
5. P. Junker, S. Jaeger et al., Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 2015. V. 80, P. 86–102.

ОСЦИЛЛЯЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВОГО СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Макаров С.В., Плотников В.А.

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

Введение.

Эффект прерывистой текучести есть характерный отклик алюминидо-магниевого сплава на механическое нагружение, являющийся следствием эффекта Портевена – Ле Шателье [1], реализующийся на микроструктурном уровне в виде формирования деформационных полос, которые представляют собой области локализации пластической деформации [2]. Прерывистая текучесть на зависимости напряжение - деформация представляет собой скачки (зубцы) напряжения, причем полоса деформации, ответственная за акты прерывистой текучести, является макроскопическим объектом и развивается из критического зародыша полосы. Другим проявлением прерывистой текучести является прерывистая ползучесть (или эффект Савара-Массона [3]), проявляющаяся сплавах на кривых ползучести в виде последовательности скачков деформации величиной до $1 \mu\text{m}$ [4]. Прерывистая ползучесть при комнатной температуре развивается как спонтанное, потеря механической устойчивости путем зарождения и распространения по поверхности образца полос макролокализации деформации, сопровождающейся формированием деформационного скачка. Структурно локализация деформации – это последовательное зарождение и рост деформационных полос и деформационный скачек представляет собой пространственную и временную организацию, характеризующую пластическую неустойчивость нагруженного материала [4]. Эстафетная передача деформации от одной полосы к другой является главным структурным признаком прерывистой текучести, распространяющаяся по образцу в виде области локализации деформации [5]. Характерным является осциллирующий вид силового отклика системы машина-образец в ответ на скачкообразный прирост

деформации нагруженного образца величиной 1 – 4 %. Анализ области локализации деформации свидетельствует, что она представляет собой пространственно-временную структуру. Рост одной полосы сопровождается одной силовой осцилляцией, продолжительностью 1 – 3 мс, осциллирующий силовой отклик является отображением пространственно-временной структуры деформационных полос, спонтанное зарождение которых создает макроскопический скачкообразный прирост деформации [4,5].

Целью данной работы является исследование закономерностей осциллирующего характера механического напряжения при деформировании алюминий-магниевого сплава в условиях высоких температур.

Экспериментальные результаты.

Накопление деформации при нагреве до 500 °С и нагрузке 100 МПа осуществляется монотонно в области I (рис. 1) и квазискачкообразно в области II (рис. 1).

Такой характер накопления деформации сопровождается монотонным нарастанием среднеквадратичного напряжения акустической эмиссии и осциллирующим механическим напряжением при переходе к квазискачкообразной области II. При достижении некоторой деформации (критической температуры перехода от области I к области II) механическое напряжение начинает осциллировать, причем по мере повышения температуры амплитуда осцилляций растет, переход к осцилляции механического напряжения может свидетельствовать о существенном изменении микромеханизма накопления деформации, а увеличение амплитуды акустических импульсов по мере повышения температуры характеризует увеличение колебательной энергии акустической эмиссии в объеме деформируемого материала.

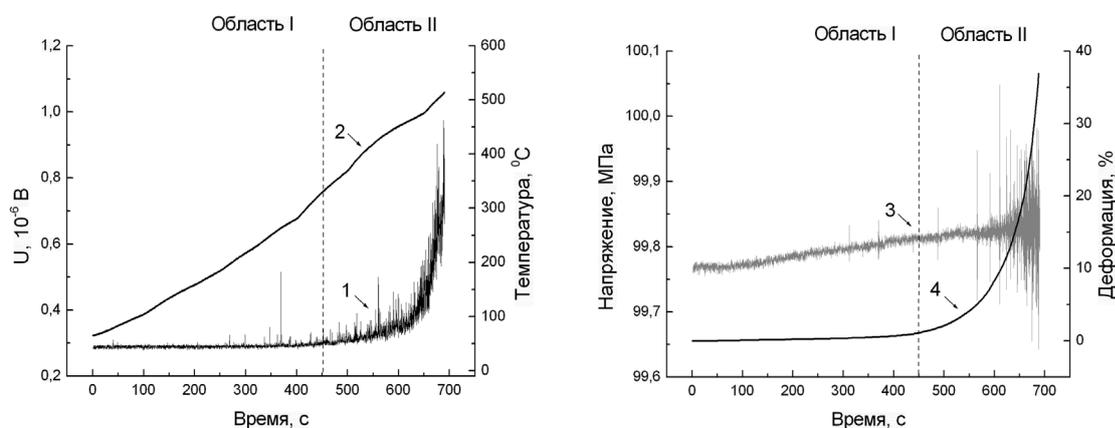


Рисунок 1 - Акустическая эмиссия (1), температура (2), накопление деформации (3), механическое напряжение (4) при нагрузке 100 МПа и нагреве образца.

Обсуждение. Как было показано ранее [6,7] двоякий характер накопления деформации обусловлен деформационным структурным переходом кристаллической среды образца, находящегося в условиях термомеханического нагружения. Деформационный структурный переход представляет собой переход от накопления деформации, контролируемой термически активируемым переползанием дислокаций [8], к накоплению деформации, контролируемым зернограничными процессами производства полных (решеточных) дислокаций на тройных зернограничных стыках [9] и происходит при достижении механическим напряжением, температурой и энергией акустической эмиссии некоторых критических значений. Макроскопическим проявлением деформационного структурного перехода является величина накапливаемой деформации и, главное, скорости накопления деформации в разных структурных состояниях, поэтому накопление деформации в высокотемпературной области было определено как квазискачкообразное. Сопоставляя накопление

деформации в высокотемпературной области и осциллирующий характер напряжения, можем утверждать, что термин квазискачкообразный действительно отображает реальный скачкообразный процесс накопления деформации. Процесс деформирования структурно неоднородных материалов сопровождается скачками напряжений [10,11], обусловленные релаксацией напряжений при преодолении (прорыве) стопоров дислокационными скоплениями. Структурно релаксация напряжений проявляется в формировании деформационных полос. Каждый релаксационный акт сопровождается появлением одной деформационной полосы [11].

Осциллирующий вид силового отклика свидетельствует о макроскопической корреляции элементарных деформационных актов, однако фактором корреляции выступают не только механические напряжения, но и тепловые флуктуации и акустическая эмиссия, колебательная энергия которой накапливается в объеме деформируемого материала в виде акустических стоячих волн. Накопление деформации в области II после деформационного структурного перехода представляет собой квазипериодический процесс скачкообразной деформации, сопровождаемый снижением и восстановлением приложенного механического напряжения, управляемого одновременным действием тепловых флуктуаций, механических напряжений и акустической эмиссией, формирующей акустические стоячие волны в области локализации деформации. Периодичность процесса обусловлено протекающими с высокой скоростью при температурах выше критической процессами упрочнения-разупрочнения структуры деформируемого материала. Этот процесс упрочнения-разупрочнения принципиально различается от трактовки, связанной с прорывом дислокационными ансамблями стопоров различной природы [5], так как обеспечивается включением квазипериодического механизма генерации дислокаций.

Заключение.

Анализ осциллирующего характера силового отклика после деформационного структурного перехода, то есть при достижении температурно-силовых параметров и колебательной энергии акустической эмиссии критических значений, свидетельствует о скачкообразном процессе накопления деформации в высокотемпературной области. Периодичность (квазипериодичность) процесса накопления обусловлено быстрыми процессами упрочнения разупрочнения структуры деформируемого материала. Эффект корреляции элементарных деформационных актов (зарождение и расширение деформационных полос) связан с совместным действием тепловых флуктуаций, статических смещений поля механических напряжений и динамических смещений стоячих акустических волн в объеме деформируемого материала.

Библиографический список

1. Portevin A., Le Chatelier F. Effect of geometrical stress concentrators on the band formation and the serrated deformation in aluminum–magnesium alloys // Acad Sci Paris. 1923. Vol. 176.
2. Кристал М.М. Особенности образования полос деформации при прерывистой текучести // ФММ. 1993, т. 75, №5.
3. Шибков А.А., Кольцов Р.Ю., Желтов М.А., Шуклинов А.В., Лебедкин М.А. Динамика спонтанной делокализации пластической деформации при неустойчивом пластическом течении сплавов // Известия РАН. Серия физ. 2006. Т. 20. № 9.
4. Шибков А.А., Золотов А.Е., Желтов М.А., Гасанов М.Ф., Денисов А.А. Макролокализация пластической деформации при прерывистой ползучести алюминий-магниевого сплава АМг6 // ЖТФ. 2014, т. 84. №4.
5. Шибков А.А., Золотов А.Е., Желтов М.А., Денисов А.А., Гасанов М.Ф. Прерывистая ползучесть и пространственно-временные структуры макролокализованной пластической деформации // ФТТ. 2014, Т. 58. № 5.

6. Макаров С.В., Плотников В.А., Лысиков М.В. Деформационный структурный переход и акустическая эмиссия в алюминий-магниево-магний сплавах в условиях термомеханического нагружения // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2016. № 3.

7. Макаров С.В., Плотников В.А., Лысиков М.Ю., Колубаев Е.А. Накопление деформации и акустическая эмиссия в алюминий-магний образце, полученном сваркой трением с перемешиванием // *Известия АлтГУ*. 2016, №1. DOI 10.14258/izvasu(2016)1-05

8. Мышляев М.М. Ползучесть полигонизованных структур. – *Несовершенства кристаллического строения и мартенситные превращения*. // М: Наука. 1972.

9. Гудкин М.Ю., Овидько И.А., Скиба Н.В. Зернограничное скольжение и эмиссия решеточных дислокаций в нанокристаллических материалах при сверхпластической деформации // *ФТТ*. 2005, т. 47, № 9.

10. Криштал М.М., Мерсон Д.Л. Взаимосвязь макролокализации деформации, прерывистой текучести и особенностей акустической эмиссии при деформировании алюминий-магний-магний сплавов // *ФММ*. 1996, т. 81, № 1.

11. Криштал М.М., Мерсон Д.Л. Влияние геометрических параметров образца на механические свойства и акустическую эмиссию при прерывистой текучести в Al-Mg сплавах // *ФММ*. 1991, № 10.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ АДАПТИВНОЙ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Сараев Ю.Н., Лунев А.Г.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия,
E-mail: litsin@ispms.tsc.ru;

Гладковский С.В.

Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия,
E-mail: gcv@imach.uran.ru;

Голиков Н.И.

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия,
E-mail: n.i.golikov@mail.ru

Актуальность.

Повышение требований к эксплуатационным характеристикам сварных конструкций в машиностроении, строительной промышленности, судостроении, трубопроводном транспорте вызвало необходимость применения высокопрочных низколегированных сталей [1]. Основным способом, применяемым при монтаже металлоконструкций, является дуговая сварка, оказывающая существенное влияние на свойства зоны сварного соединения, её структуру и механические характеристики. При этом всегда существует риск возникновения в зоне сварного соединения различных дефектов, природа появления которых разнообразна и труднопредсказуема [2].

Анализ научно-технической литературы, посвященной вопросам прочности и надежности металлоконструкций ответственного назначения [3,4 и др.], позволяет выделить несколько перспективных направлений исследований, в ходе которых изучаются различные стадии формирования неразъемных соединений, в том числе