

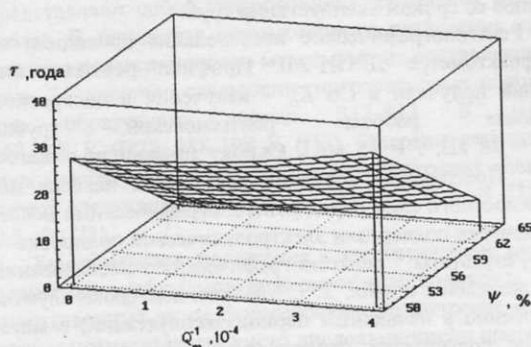


Рис. 3. Зависимость высоты максимума П1 (Q_m^{-1}) и относительного сужения от срока эксплуатации.

Коэффициент множественной корреляции этих уравнений, близкий к 1, свидетельствует о наличии тесной связи между рассматриваемыми характеристиками. Данные модели позволяют связать изменение параметров характерных максимумов с характеристиками механических свойств образцов (рис. 2, 3).

Таким образом, можно заключить, что в температурном спектре ВТ образцов трубных сталей (при тем-

пературах 313-323 К и 363-368 К) наблюдаются специфические максимумы П1 и П2. Энергии активации максимумов, изменение их параметров, а также характеристик механических свойств трубных сталей от срока службы и термической обработки позволяют связать их с взаимодействием полей упругих напряжений дислокационных скоплений в устьях трещиноподобных дефектов, стимулируемых эксплуатационным наводороживанием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блантер М.С., Головин И.С., Головин С.А., Ильин А.А., Саррак В.И. Механическая спектроскопия металлических материалов. М.: МИА, 1994. 256 с.
2. Метод внутреннего трения в металловедческих исследованиях / Под ред. М.С. Блантера и Ю.В. Пигузова. М.: Металлургия, 1991. 248 с.
3. Головин С.А. // Вопросы металловедения и физики металлов. Тула: Изд-во ТПИ, 1975. С. 34-49.
4. Головин С.А., Агеев В.С., Сергеев Н.Н., Левин Д.М. // ФХММ. 1975. № 6. С. 24-27.
5. Агеев В.С., Сергеев Н.Н., Петрушин Г.Д. // Внутреннее трение в металлах, полупроводниках, диэлектриках и ферромагнетиках. М.: Наука, 1978. С. 97-102.
6. Владимиров В.И. Физическая природа разрушения металлов. М.: Металлургия, 1984. 280 с.
7. Гельд П.В., Рябов Р.А., Кодес Е.С. Водород и несовершенство структуры металла. М.: Металлургия, 1979. 221 с.

УДК 669.15: 539.219.2: 542.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ6М ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЖИДКИМ ГАЛЛИЕМ

© В.Г. Шипша, В.Ю. Ефименко, Е.Л. Лебедев

Россия, Санкт-Петербург, ВИККА им. А.Ф. Можайского

Shipsha V.G., Efimenko V.Yu., Lebedev E.L. Investigation of durable endurance of aluminum alloy AMg-6M under interaction with liquid gallium. Durable endurance of aluminum alloy AMg-6M under interaction with liquid gallium is investigated. It is shown, gallium decreases substantially durability of samples. Temperature being increased, the abating activity of gallium increases too. The most of duration of loaded samples comprises time before the crack creation. Rapid growth of created crack depends on gallium transportation to its orifice. The kinetics of AMg-6M alloy breakdown is controlled by the velocity of brittle bursting, which is determined by interaction of gallium with alloy in the region of pre-breakdown.

Изучение закономерностей изменения механического поведения конструкционных сплавов под воздействием поверхностно-активных веществ (ПАВ) является важной научно-практической задачей. В этой области накоплен большой экспериментальный материал, однако вопрос длительной прочности конструкционных материалов, в частности сплава АМГ6М, в контакте с галлием мало изучен, а имеющиеся сведения носят иногда противоречивый характер.

Анализ публикаций [1 - 5] показал наличие общих закономерностей изменения длительной прочности твердых металлов под воздействием жидкометаллических ПАВ, а именно:

– при напряжениях ниже критического $\sigma < \sigma_{кр}$ (различного для разных пар «твердый металл – ПАВ»)

влияние ПАВ не сказывается на длительной прочности твердого металла [1, 2];

– при напряжениях выше критического $\sigma > \sigma_{кр}$ длительная прочность катастрофически падает, причем кинетика роста трещины разрушения не связана с термической активацией и определяется диффузией атомов ПАВ в зону разрушения [1];

– началу зарождения и роста трещин предшествует инкубационный период [2] (зачастую составляющий основную долю времени жизни образцов), хотя для пары «Zn – Hg» такой период не наблюдается и трещины возникают мгновенно [3];

– процесс образования и развития трещин разрушения связан со структурными изменениями (по крайней мере, в алюминиевых сплавах) [4, 5], обусловленными диффузией ПАВ и его взаимодействием с металлом.

В этом случае существенное влияние оказывает исходная структура сплава, определяемая предварительной обработкой образцов (наклеп, термическая обработка и др.).

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование длительной прочности сплава АМг6М с локально нанесенным жидким галлием для проверки соответствия имеющимся закономерностям и получения количественных данных для практического использования.

Образцы лопаточного типа ГОСТ 1498-84 вырезались из листа сплава АМг6М толщиной 2 мм вдоль направления проката. Для устранения поверхностных дефектов и снятия остаточных напряжений образцы шлифовались и подвергались отжигу при $T = (315 \pm 5)^\circ \text{C}$ в течение 30 минут (охлаждение с печью).

Испытания проводились на установке ИМАШ-5С. Образцы нагружались предварительной статической нагрузкой заданного уровня и нагревались до требуемой температуры. Затем дозированный на массы $0,5 \pm 0,05$ мг жидкий Ga наносился на поверхность образцов путем нацарапывания стальной иглой. После достижения смачивания производился отсчет времени до разрушения.

Исследование длительной прочности проводилось при температурах 30°C , 45°C и 60°C (температура плавления галлия $T_{\text{пл Ga}} \approx 29^\circ \text{C}$). Напряжения, при которых испытывались образцы, не превышали предела пропорциональности сплава АМг6М ($\sigma_{\text{пл}} = 100 \text{ МПа}$) и составляли 50; 60; 70; 80; 90 и 100 МПа при $T = 30^\circ \text{C}$, и 50; 60 и 70 МПа при температурах 45°C и 60°C . Выбор уровней напряжений и

температур испытаний определялся условиями эксплуатации изделий из сплава АМг6М.

В исследованных диапазонах напряжений и температур разрушение образцов из сплава АМг6М без галлия, как и следовало ожидать, не наблюдалось на базе испытаний ≈ 300 часов. При наличии же Ga время жизни образцов составляло от нескольких секунд до десятков минут, что подтверждает катастрофическое снижение длительной прочности сплава АМг6М при воздействии жидкого галлия.

Несмотря на большой разброс экспериментальных результатов (1 ... 2 порядка), можно полагать, что с увеличением напряжения время до разрушения снижается (рис. 1), что соответствует данным аналогичных исследований [2].

Обработка результатов по методу регрессионного анализа (сплошные линии на рис. 1; уравнения регрессии приведены на рисунках) позволяет сделать вывод о влиянии температуры испытаний на длительную прочность сплава АМг6М в присутствии галлия, что, по-видимому, связано с повышением скорости диффузии Ga, особенно зернограничной и поверхностной, по берегам трещины к ее устью.

Металлографические исследования образцов в месте нанесения галлия в процессе испытаний подтвердили наличие инкубационного периода, составлявшего большую часть времени жизни образцов, в течение которого наблюдалось диффузионное взаимодействие галлия с материалом образца без образования видимых трещин. При вскрытии трещин жидкий Ga с поверхности интенсивно ими поглощался. Трещинообразование протекало очень быстро и завершалось полным разрушением образцов. Фрактографический анализ

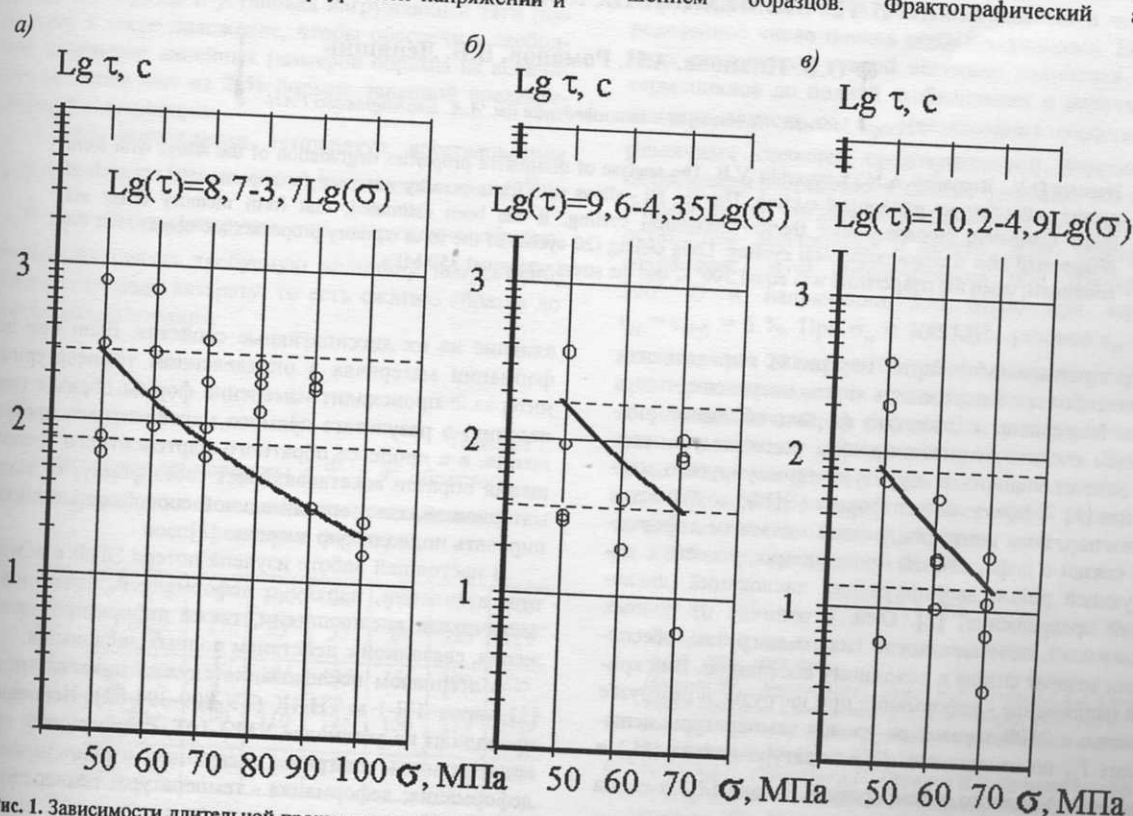


Рис. 1. Зависимости длительной прочности сплава АМг6М от напряжения при локальном нанесении жидкого Ga: а) $T = 30^\circ \text{C}$; б) $T = 45^\circ \text{C}$; в) $T = 60^\circ \text{C}$.

изломов свидетельствовал о том, что трещина носит хрупкий интеркристаллитный характер, причем поверхность излома была покрыта сплошной тонкой пленкой галлия. Эти наблюдения подтверждают тот факт, что развитие трещины разрушения контролируется диффузией Ga к устью трещины и его взаимодействием с зоной предразрушения. Более подробно механизм взаимодействия галлия со сплавом АМгб изложен в [6].

В данном исследовании критическое напряжение $\sigma_{кр}$ не определялось.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. В эксплуатационном диапазоне нагрузок и температур длительная прочность сплава АМгбМ под воздействием жидкого Ga катастрофически снижается (максимальное время до разрушения составляет десятки минут).

2. Процесс разрушения удовлетворительно согласуется с общими закономерностями длительной прочности твердых металлов в присутствии ПАВ.

3. Большой разброс экспериментальных данных в значительной степени связан с кинетикой образования и роста трещин разрушения, определяемой диффузи-

онным проникновением галлия и сложными процессами его взаимодействия с материалом образцов в зоне предразрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брюханова Л.С., Андреева И.А., Лихтман В.И. О длительной прочности металлов и влиянии на нее поверхностно-активных металлических расплавов // ФТТ. 1961. Т. 3. № 9. С. 2774 - 2778.
2. Ростокер У., Мак-Кози Дж., Маркус Г. Хрупкость под действием жидких металлов. М.: ИЛ, 1962.
3. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В., Перцов Н.В., Траскин В.Ю., Щукин Е.Д. Развитие трещин в цинковых пластинах при их деформировании в присутствии локально нанесенной капли жидкого поверхностно-активного металла // ФММ. 1962. Т. 14. № 5. С. 757 - 765.
4. Ларинов Л.Н., Максименко Е.А., Франчук В.И. Ориентационные изменения в бикристаллах алюминия при диффузии галлия // Металлофизика. 1990. Т. 12. № 2. С. 115 - 118.
5. Ларинов Л.Н., Прокопенко Г.И., Франчук В.И., Якубов И.А. Исследование охрупчивания алюминия и сплава АМгб при взаимодействии с жидким галлием методом акустической эмиссии // ФХММ. 1990. № 3. С. 5 - 9.
6. Шитица В.Г., Лебедев Е.Л., Ефименко В.Ю., Маспанов В.А. Влияние скорости деформирования на механические характеристики сплава АМгб в условиях поверхностного контакта с галлием // Вестн. ТГУ. Сер. Естеств. и технич. науки. Тамбов, 1998. Т. 3. Вып. 3. С. 262-264.

УДК 669.018.2

АНАЛИЗ ПОТЕРИ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ ЦИКЛИРОВАНИИ

© О.В. Иванова, А.Н. Романов, В.Б. Лентяшин

Россия, Москва, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

Ivanova O.V., Romanov A.N., Lentyashin V.B. The analyse of dissipative properties degradation of the alloys with form memory after thermo-mechanical cycling. The Ti - Ni - alloys with form memory was used for experimental research of their dissipative properties after thermo-mechanical cycling. It has been estimated, that form memory effect are disappeared after thermo-mechanical cycling. Long cycling (20 cyclis) of the form memory properties are observed at the conditions, when the temperature was equal 300° C and the stress was equal 350 MPa.

Диссипативные свойства материала определяются его способностью переводить подводимую энергию в тепло. Материалы с памятью формы обладают уникальным свойством диссипировать подводимую энергию за счет наличия в структуре термоупругого мартенсита [1]. Эффект памяти формы (ЭПФ) сохраняется до тех пор, пока контролирующий механизм деформации связан с деформацией превращения, то есть с лидирующей ролью двойникоющих дислокаций (дислокаций превращения) [2]. Они, в отличие от полных дислокаций, исчезают после снятия нагрузки, обеспечивая возврат сплава к исходному состоянию. Вид кривой напряжение - деформация при нагрузке и разгрузке сплавов с ЭПФ зависит от уровня температуры испытания T_{α} по отношению к температуре начала (M_s) и конца (M_f) прямого и температуры начала (A_s) и конца (A_f) обратного мартенситных превращений. Поэтому температуры M_s , M_f , A_s и A_f контролирующие структурное состояние сплавов, оказывают определяющее

влияние на их диссипативные свойства. Если при деформации материала в определенном температурном интервале происходит изменение формы образца (или изделия) в результате прямого мартенситного превращения, а в процессе обратного мартенситного превращения образец восстанавливает свою форму, то такой материал обладает максимальной способностью диссипировать подводимую энергию [2].

В настоящей работе изучена потеря ЭПФ в результате активации, наряду с деформацией, связанной с частичными дислокациями, также деформации скольжения, связанной с действием полных дислокаций.

Материалом исследования служил никелид титана [3] марок ТН-1 и ТН-1К (ТУ-809-394-82). Испытания проводили на установке УМЭ-10Т, позволяющей проводить запись диаграмм следующих типов: усилие - деформация; деформация - температура; температура - усилие. Испытывали полые (диаметром 22 мм) и сплошные (диаметром 5 мм) образцы. Полноту восстановления формы оценивали параметром