

PACS: 81.40.-z

А.И. Скворцов<sup>1</sup>, А.И. Агапов<sup>1</sup>, В.М. Кондратов<sup>1</sup>, В.М. Шишкин<sup>1</sup>,  
Б.М. Эфрос<sup>2</sup>, В.С. Тютенко<sup>2</sup>

## ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ ЦИНК–АЛЮМИНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

<sup>1</sup>Вятский государственный университет  
ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Россия

<sup>2</sup>Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины  
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина

*Изучено влияние пластической деформации при 320–350°C с последующей закалкой в воде на внутреннее трение и структуру сплавов на основе Zn–Al различного состава. Структуру исследовали методами рентгеновского анализа и электронной микроскопии. Показано, что увеличение степени пластической деформации может сопровождаться повышением демпфирующей способности сплавов, когда оно соответствует увеличению параметра  $c/a$   $\beta$ -фазы и дисперсности структурных составляющих. Повышение степени пластической деформации может сопровождаться увеличением доли остаточной  $\alpha'$ -фазы, что ведет к снижению демпфирующей способности сплавов. Частично это снижение можно компенсировать путем проведения старения.*

### Введение

Демпфирующую способность сплава Zn–Al монотектоидного состава можно повысить пластической деформацией [1]. Известен также способ обработки этого сплава, включающий в себя его деформацию в области высокотемпературной  $\alpha'$ -фазы [2].

В настоящей работе изучали влияние пластической деформации при температурах выше температуры монотектоидного превращения с последующей закалкой на параметры внутреннего трения, структуру сплавов на основе Zn–Al различного состава.

### Материал и методика исследований

Исследовали выплавленные в открытой тигельной печи из чистых шихтовых материалов и разлитые в металлическую форму сплавы различного типа (mass%): монотектоидный Zn–23Al (сплав 1); соответствующий наи-

большей степени расслоения высокотемпературной  $\alpha'$ -фазы Zn–39Al (сплав 2); легированный монотектоидный Zn–23Al–1.2Fe–0.1Be (сплав 3). Деформацию отливок проводили методом гидроэкструзии при 320–350°C с последующим охлаждением в воде. Амплитудную зависимость внутреннего трения (демпфирующую способность) изучали методом затухающих крутильных колебаний с частотой  $15 \pm 3$  Hz. Рентгеноструктурный анализ проводили на установке ДРОН-3М в Co-излучении, металлографический – на электронном микроскопе ЭММА-2.

### Результаты исследований и их обсуждение

Из табл. 1 видно, что с увеличением степени пластической деформации демпфирующая способность  $\delta$  (при амплитуде деформации  $\gamma = 5 \cdot 10^{-5}$ ) всех сплавов повышается. Однако абсолютная величина этого повышения у сплавов различная.

Таблица 1

**Повышение демпфирующей способности  $\delta$  ( $\gamma = 5 \cdot 10^{-5}$ ), степени тетрагональности  $\beta$ -фазы  $c/a$  и содержания остаточной высокотемпературной  $\alpha'$ -фазы при комнатной температуре с ростом степени пластической деформации при гидроэкструзии от 12 до 55% (с последующей закалкой в воде) сплавов на основе Zn–Al**

Параметры	Сплав		
	1	2	3
$\Delta\delta, 10^{-3}$	8	6	1
$\Delta c/a, 10^{-4}$	12	6	11
$\Delta\alpha', \%$	15	25	15

Анализ структурных изменений при термомеханической обработке показал, что при рассмотрении зависимости демпфирующей способности сплавов на основе Zn–Al от степени пластической деформации необходимо учитывать влияние степени тетрагональности  $\beta$ -фазы, дисперсности фазовых составляющих, содержания остаточной при комнатной температуре высокотемпературной  $\alpha'$ -фазы.

Возрастанию демпфирующей способности всех исследуемых сплавов при увеличении степени пластической деформации способствует, во-первых, повышение степени тетрагональности  $\beta$ -фазы (табл. 1) и, во-вторых, как показали результаты электронно-микроскопических исследований бинарных сплавов 1 и 2, увеличение дисперсности структурных составляющих, т.е. площади межфазных и межзеренных границ. Последнее соответствует результатам работы [3], в которой дисперсность структурных составляющих регулировалась термической обработкой.

Результаты электронно-микроскопических исследований также показали, что увеличение степени пластической деформации до 55% при термомеханической обработке сплава 3 мало меняет дисперсность его структурных составляющих. Иными словами, легирование сплавов Zn–Al комбинацией эле-

ментов Fe + Be затрудняет измельчение структуры при данном виде обработки. Поэтому небольшое повышение демпфирующей способности сплава (табл. 1) можно объяснить увеличением степени тетрагональности  $\beta$ -фазы.

В работе [4] показано, что высокотемпературная  $\alpha'$ -фаза сплавов на основе Zn–Al, переохлажденная до комнатной температуры, обладает относительно невысокой демпфирующей способностью. Поэтому увеличение ее доли вследствие повышения степени пластической деформации (табл. 1) дает отрицательный вклад в изменение демпфирующей способности сплавов. Такое соотношение подтверждено и данными, полученными при последующем после термомеханической обработки старении (табл. 2).

Таблица 2

**Изменение демпфирующей способности  $\delta$  сплавов на основе Zn–Al после старения при 70°C по сравнению с закаленным состоянием после гидроэкструзии при различной степени пластической деформации  $\epsilon$**

Параметры	Сплав					
	1		2		3	
$\epsilon, \%$	12	55	12	55	12	55
$\Delta\delta, 10^{-3}$	-3	3.5	-2	3	0	1.5

В работах [3,4] установлено, что старение закаленных сплавов Zn–Al, не содержащих остаточную  $\alpha'$ -фазу, сопровождается снижением их демпфирующей способности. Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что старение при невысоких температурах (в данном случае при 70°C) термомеханически обработанных сплавов, содержащих остаточную  $\alpha'$ -фазу, ведет к ее монотектоидному распаду. Распад  $\alpha'$ -фазы сопровождается повышением демпфирующей способности сплавов. Из табл. 1 и 2 видно, что эффект такого повышения возрастает с увеличением степени пластической деформации, т.е. содержания в сплавах  $\alpha'$ -фазы после термомеханической обработки.

### Выводы

1. Пластическая деформация отливок из сплавов на основе Zn–Al методом гидроэкструзии при 320–350°C (с последующий закалкой в воде) приводит к различным структурным изменениям: степени тетрагональности  $\beta$ -фазы, дисперсности структурных составляющих, содержания остаточной при комнатной температуре высокотемпературной  $\alpha'$ -фазы.

2. Увеличение степени пластической деформации может сопровождаться ростом демпфирующей способности, когда деформация способствует повышению степени тетрагональности  $\beta$ -фазы и дисперсности структурных составляющих.

3. Одновременно увеличение степени пластической деформации может сопровождаться ростом доли остаточной  $\alpha'$ -фазы, что ведет к снижению демпфирующей способности сплавов. Частично это снижение можно компенсировать монотектоидным распадом  $\alpha'$ -фазы путем проведения низкотемпературного старения.

1. *M. Tagamai, T. Ohtani, T. Usami*, J. Japan Inst. Light Metals **38**, 107 (1988).
2. *И.И. Новиков, В.К. Портной, Н.С. Журавлева, В.М. Ильенко, В.С. Левченко*, Изв. вузов. Цветная металлургия № 4, 98 (1976).
3. *А.И. Скворцов*, Изв. вузов. Цветная металлургия № 1, 118 (1991).
4. *А.И. Скворцов*, Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук, УГТУ, Екатеринбург (1995).

*A.I. Skvortsov, A.I. Agapov, V.M. Kondratov, V.M. Shishkin, B.M. Efros, V.S. Tyutenko*

#### INTERNAL FRICTION AND PHASE TRANSFORMATIONS IN ALLOYS ON THE BASIS OF ZINC-ALUMINIUM DEPENDING ON THE DEGREE OF PLASTIC DEFORMATION

The influence of plastic deformation at 320–350°C followed by water quenching on internal friction and structure of Zn–Al-based alloys of various structure has been studied. Structure was investigated by methods of the X-ray analysis and electron microscopy. It is shown that an increase of a degree of plastic deformation can be accompanied by the increase of damping capacity of alloys when it corresponds to the increase of parameter  $c/a$  of the  $\beta$ -phase and dispersivity of structural components. An increase of the degree of plastic deformation can be accompanied by the increase of a share of residual  $\alpha'$ -phase, thus resulting in the decrease of damping capacity of alloys. This decrease can be partially compensated by aging.