МЕХАНИЗЪМ НА СВРЪХПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЯ ПРИ СПЛАВ ОТ СИСТЕМАТА Zn-Cd-Mn

ЯНА МУРДЖЕВА^{*}, НИКОЛАЙ ДЮЛГЕРОВ И СЕРЪОЖА ВЪЛКАНОВ

*Институт по металознание, съоръжения и технологии
с Център по хидро- и аеродинамика „Акад. Ангел Балевски“,
Българска академия на науките,
бул. Шипченски проход № 67, 1574 София, България,
e-mails: janamourdzeva@gmail.com; diulgerovi@abv.bg; serg@ims.bas.bg*

Резюме. Изследвани са микроструктурните механизми на деформация на сплав от системата Zn-Cd-Mn. Върху петкратни плоски образци с корундов прах са нанесени линии, успоредни на оста на образците, след това образците са деформирани при температурно-скоростни условия, при които изучаваната сплав проявява свръхпластични свойства. Структурата е наблюдавана със сканираща микроскопия. Петкратните цилиндрични образци са деформирани при три последователни стадия на деформация. Микроструктурата е наблюдавана с методите на трансмисионна микроскопия. Определен е основният деформационен механизъм – зърногранично плъзгане. Намерено е, че наличието на ζ -фаза води до стабилизиране на структурата при деформация и свръхпластично свойство на изследваната сплав.

Ключови думи: цинкови сплави, свръхпластичност, микроструктура, електронна микроскопия.

1. УВОД

Голям интерес за металознанието представляват кристалните материали с дребнозърнеста структура, при които размерът на зърното не превишава 10 μm . Такива сплави са изследвани първоначално от Хол и Патч. Тези материали проявяват свръхпластични свойства при определени температурно-скоростни условия [1, 2]. Интерес представляват поведението и механизмите на пластична деформация при дребнозърнести двуфазни и многофазни сплави, за които едрината на фазите и зърната от α -разтвора са съизмерими.

^{*} Corresponding author.

DOI: 10.7546/EngSci.LV.18.02.01

Свръхпластичността може да се опише като „способността на материала да проявява много голяма пластична деформация“. В повечето случаи материалът проявява свръхпластични свойства при висока температура (обикновено над $0,5\text{ Tt}$) и ниска скорост на деформация (обикновено в диапазона $10^{-3}\text{s}^{-1} \div 10^{-4}\text{s}^{-1}$). Друго необходимо условие е размерът на зърната да е по-малък от $10\text{ }\mu\text{m}$.

Стабилността на микроструктурата се изразява в свойството ѝ несъществува да променя фазовия си състав и размера на зърната както при нагряване до температурата на деформация, така и в процеса на самата деформация. Тя е важен фактор, оказващ влияние върху максималното удължаване δ .

Основният механизъм на деформация при свръхпластичност е зърнограничното плъзгане, но са необходими и други акомодационни механизми, като дифузионно и дислокационно плъзгане.

Целта на статията е да се определи механизмът на деформация за изследваната сплав $\text{Zn-0,5\%Cd-0,5\%Mn}$, патентована в ИМСТЦХА–БАН, която проявява свръхпластични свойства при температура $T = 320^\circ\text{C}$ и скорост на деформация $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-1}\text{s}^{-1}$.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЧАСТ

За изучаване на механизма на свръхпластична деформация, върху петкратни плоски образци с работна част 2 mm и средна едрина на зърната $1 \div 2\text{ }\mu\text{m}$, с корундов прах са нанесени линии, успоредни на оста на образците. След това образците са деформирани на опън на изпитвателна машина, позволяваща поддържането на постоянна скорост на деформация, и закалени под товар в температурно-скоростния интервал на свръхпластичност за тази сплав $T = 320^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-3}\text{s}^{-1}$. Наблюденията на образците са осъществени на сканиращ микроскоп.

Изследвани са микроструктурните механизми, определящи поведението на сплавта, на петкратни цилиндрични образци с диаметър на работната част 5 mm първоначално при три последователни стадия на деформация: (i) до $\delta = 200\%$, при установен процес на течение; (ii) до $\delta = 320\%$, при излизане от установен процес на течение, характеризиращ се с начало на зараждане на шийка; (iii) над $\delta = 320\%$, при неустановен процес на течение при стабилно формиране на шийка. Деформацията е осъществена на изпитвателна машина, позволяваща поддържането на постоянна скорост на деформация и закаляване под товар. Наблюденията са извършени с електронна микроскопия. Равнината на наблюдение на електронно-

микроскопските образци е винаги нормална на оста на натоварване. Образците са заснети при увеличение 40000

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Наблюденията на деформираните образци със сканираща микроскопия показват, че праволинейността на нанесените маркировъчни линии е нарушена. Предварително нанесените успоредни линии са начупени, като обаче се запазва праволинейността в рамките на отделните зърна, което е показател за протичане на междוזърнесто плъзгане (*fig. 1*).

Фиг. 1. Повърхност след деформация
с начупени маркиращи линии
Fig. 1. Surface after deformation
with broken marker lines

След проведените три последователни стадия на деформация на сплав Zn-0,5%Cd-0,5%Mn, при оптимален температурно-скоростен режим на свръхпластична деформация, са получени микроструктурите, представени на *fig. 2, 3 и 4*.

Фазовият анализ показва, че, при всички температурно-скоростни условия на свръхпластична деформация, в сплавта присъства фазата $MnZn_{13}$, известна още като ζ -фаза. Именно на нейното присъствие се дължат стабилизирането на структурата при деформация и свръхпластичното свойство на изследваната сплав.

При установен процес на свръхпластична деформация се образуват дислокационни вериги, като дислокациите са декорирани от ζ -фаза, отделена по тях, което косвено говори за облекчена дифузия по време на процеса

Фиг. 2. Сплав Zn-0,5%Cd-0,5%Mn,
 $T = 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-1}\text{ s}^{-1}$;
 $\delta = 200\%$ – установен процес на течение
Fig. 2. Alloy Zn-0.5%Cd-0.5%Mn,
 $T = 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-1}\text{ s}^{-1}$,
 $\delta = 200\%$ – established flow process

Фиг. 3. Сплав Zn-0,5%Cd-0,5%Mn,
 $T = 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-1}\text{ s}^{-1}$,
 $\delta = 320\%$ – начало на зараждане на шийка
Fig. 3. Alloy Zn-0.5%Cd-0.5%Mn,
 $T = 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-1}\text{ s}^{-1}$,
 $\delta = 320\%$ – start of neck formation

[4]. Забелязва се блокиране на отделните дислокации от частиците на ζ -фазата. Не се забелязва повишаване на дислокационната плътност вътре в зърната, което говори в полза на зърнограничните механизми на деформация на този етап на свръхпластичното течение (*fig. 2*). С увеличаване на деформацията се забелязва сгъстяване на дислокационната мрежа вътре в зърната. Това обуславя по-бързото появяване на зона на критично локализиране на деформацията (начало на формиране на шийка), т.е. скъсява се стадият на установен процес на деформация. Началото на формиране на шийка съвпада с началото на образуване на дислокационна мрежа вътре в зърното, обуславяща началото на деформационното уякчаване (*fig. 3*). Структурата в момента на формиране на стабилна шийка (преди разрушаване) се вижда добре на *fig. 4*.

Фиг. 4. Сплав Zn-0,5%Cd-0,5%Mn,
 $T = 320^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-1}\text{s}^{-1}$,
 $\delta = 320\%$ – стабилно формиране на шийка
Fig. 4. Alloy Zn-0.5%Cd-0.5%Mn,
 $T = 320^\circ\text{C}$ and $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-1}\text{s}^{-1}$,
 $\delta = 320\%$ – stable neck formation

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В интервала на свръхпластичност за сплав Zn-0,5%Cd-0,5%Mn ($T = 320^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-1}\text{s}^{-1}$), основният деформационен механизъм е зърнограничното плъзгане, като заедно с границите на зърната в акomodационните процеси, в изследваната цинкова сплав, участват и междофазовите

повърхности: матрица – втора фаза. На присъствието на ζ -фаза се дължат стабилизирането на структурата при деформация и свръхпластичното свойство на изследваната сплав.

REFERENCES

- [1] O. A. Kaibyshev, Plasticity and super-plasticity of metals, Moscow, *Metallurgiya* (1975) 280 (in Russian).
- [2] I. I. Novikov and V. K. Portnoy, Super-plasticity of alloys with fine grain, Moscow, *Metallurgiya* (1981) 168 (in Russian).
- [3] R. Z. Valiev, R. K. Islamgaliev and I. V. Alexandrov, *Progress of Materials Science* (2000) **45** 103–189.
- [4] B. Verlinden, Severe plastic deformation of metals, *Journal of Metallurgy* (2004) 165.
- [5] N. N. Dyulgerov, The conductivity on the alloy Zn-0.5%Cd-0.5%Mn (1985) (in Bulgarian).

MECHANISM OF SUPERPLASTIC DEFORMATION OF ALLOY OF THE Zn-Cd-Mn SYSTEM

YANA MOURDJEVA, NIKOLAY DJULGEROV AND SERIOZHA VALKANOV

*Institute of Metal Science, Equipment and Technologies
with Hydro- and Aerodynamics Centre “Acad. Angel Balevski”,
Bulgarian Academy of Sciences,
67, Shipchenski Prohod Blvd, 1574 Sofia, Bulgaria,
e-mails: janamourdzeva@gmail.com; djulgerovi@abv.bg; serg@ims.bas.bg*

Abstract. The microstructural mechanisms of deformation of alloy of Zn-Cd-Mn system are studied. Lines are laid with corundum powder on flat specimens parallel to the axis of the specimens, after that the specimens are deformed under temperature-velocity conditions in which the studied alloy exhibits superplastic properties. The structure is observed by scanning microscopy. Cylindrical specimens are deformed at three stages of deformation. The microstructure is observed by means of transmission microscopy methods. The main deformation mechanism is defined as grain-boundary sliding. It is clarified that the presence of the ζ -phase leads to stabilization of the deformation structure and to the superplastic property of the alloy.

Keywords: Zn-alloys, super-plasticity, microstructure, electron microscopy.

Received March 20, 2018