



Particularities of Destruction in High Temperature Deformation of Fine-grained Alloys

Nikolay DIULGEROV, Yana MOURDJEVA

Bulgarian Academy of Science, Institute of Metal Science, Equipment, and Technologies
with Center for Hydro- and Aerodynamics “Acad. A. Balevski”, Sofia, Bulgaria,
e-mail: diulgerovi@abv.bg

Abstract

Samples of alloys with fine-grained structure from the Zn-Cd-Mn, Zn-Al and Al-Cu systems were studied. It is characteristic that these alloys exhibit superplasticity under certain temperature-deformation conditions. The mechanical tests were performed at high temperature plastic deformation. Adjustable deformation factors are the temperature and the rate of deformation. The tests were performed under optimal and suboptimal temperature-velocity conditions of exhibiting of superplasticity. The formed cracks with characteristic appearance and distribution due to the relaxation processes occurring during high-temperature destruction, were studied in the specimens.

Keywords: Superplasticity, fine-grained alloys, high temperature plastic deformation, fracture

Особености на разрушаването при високотемпературна деформация на дребнозърнести сплави

Николай ДЮЛГЕРОВ, Яна МУРДЖЕВА

1. Увод

Определени са два тип междузърнесто разрушаване. Първият тип е разрушаване с клиновидна пукнатина, обикновено зараждаща се в тройните точки на зърната. Вторият е кавитационно разрушаване, при което се образуват множество малки пори по границите на зърната. С увеличаване на прилаганото усилие порите нарастват, уедряват се и се сливат, след което настъпва разрушаване. Свърхпластичните сплави се разрушат при нарастване на порите, което при високи температури се осигурява от дифузия на ваканциите. Окръпяването на пората води до загуба на равноосността ѝ, и следва превръщане в пукнатина [1, 2].

Във високотемпературната област на деформация протичат характерни процеси на релаксация, водещи до изменението на конфигурацията на пукнатините и тяхното разпространение [3]. Процесите на релаксация са характерни за свърхпластично състояние на сплавите, като водещи са релаксационните процеси, активиращи се при повишаване на температурата. В това състояние пукнатината лесно добива вид на пора, поради високите възможности за разсейване на енергията. Извесно е, че конфигурацията на пора се характеризира с ниска повърхностна енергия. При студено разрушаване пукнатините имат клиновиден вид, като зараждането и разпространението на магистралната пукнатина се подчинява на известните закономерности.

2. Експериментална част

Обект на изследване са сплави от системата Zn-Cd-Mn, Zn-Al и Al-Cu. Сплавите са получени чрез отливане във водоохлаждаема кокила и право пресоване. Отлети са при температура $100 \div 140^\circ\text{C}$ над T_T на съответната сплав. Пресоването се извършва на горещо при степен на деформация 96% и температура на матрицата T_M и заготовката T_3 както следва: за сплави Zn-0,5%Cd-0,5%Mn и Zn-22%Al: $T_M=200 \pm 10^\circ\text{C}$ и $T_3=300 \pm 20^\circ\text{C}$; за сплав Al-33%Cu: $T_M=350 \pm 10^\circ\text{C}$ и $T_3=450 \pm 20^\circ\text{C}$.

От получените прътови заготовки с едрина на зърната $1 \div 3 \mu\text{m}$ са изработени цилиндрични петкратни образци с диаметър на работната част 5mm. Деформацията на образците до разрушаване е извършена на стенд [4], осигуряващ условия на изпитване, при които се постига свръхпластична деформация за посочените сплави.

Сплавта Zn-0,5%Cd-0,5%Mn изпитвана при $T=280^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 1.10^{-2}\text{s}^{-1}$ и $\dot{\epsilon} = 2,5.10^{-2}\text{s}^{-1}$, както и при $T=325^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 7,5.10^{-2}\text{s}^{-1}$.

Сплав Al-33%Cu е изпитана на опън до разрушаване при $T=480^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 1.10^{-1}\text{s}^{-1}$ (оптимални условия за постигане на свръхпластичност) и $T=460^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 1.10^{-2}\text{s}^{-1}$.

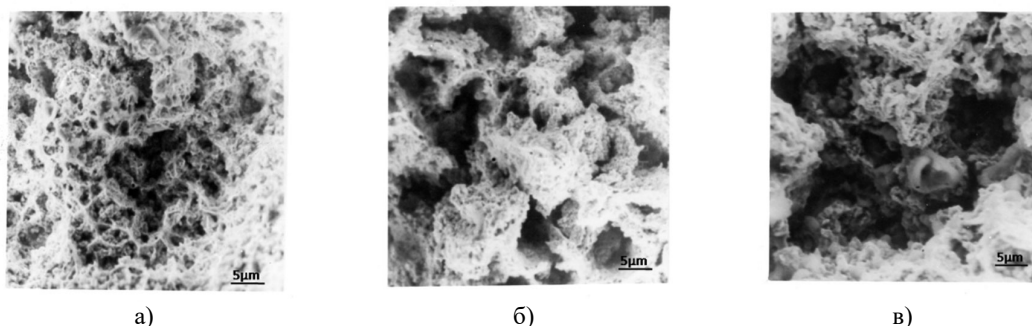
Сплав Zn-22%Al е изпитана на опън до разрушаване при $T=275^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 1.10^{-3}\text{s}^{-1}$.

Температурно-скоростните интервали за всяка сплав са подбрани така, че процеса на деформация да протича както в оптималните за структурна свръхпластичност условия, така и в преходните към конвенционална високотемпературна деформация зони.

Темперирането на образците до температурата на изпитване е извършено във солна вана със състав 50% KNO_2 и 50% NaNO_3 като времето необходимо за изравняване на температурата по сечението на образеца е 120s. Поддържането на зададената температура по време на изпитването се осъществява с електронен терморегулатор с точност $\pm 3^\circ\text{C}$.

3. Резултати и обсъждане

На фиг. 1 а) и б) са показани фрактограми, илюстриращи процеса на формиране на пукнатини при високотемпературна деформация на сплав Zn-0,5%Cd-0,5%Mn при температура $T=280^\circ\text{C}$ и скорости на деформация $\dot{\epsilon}$ съответно 1.10^{-2}s^{-1} (фиг. 1 а) и $2,5.10^{-2}\text{s}^{-1}$ (фиг. 1 б).

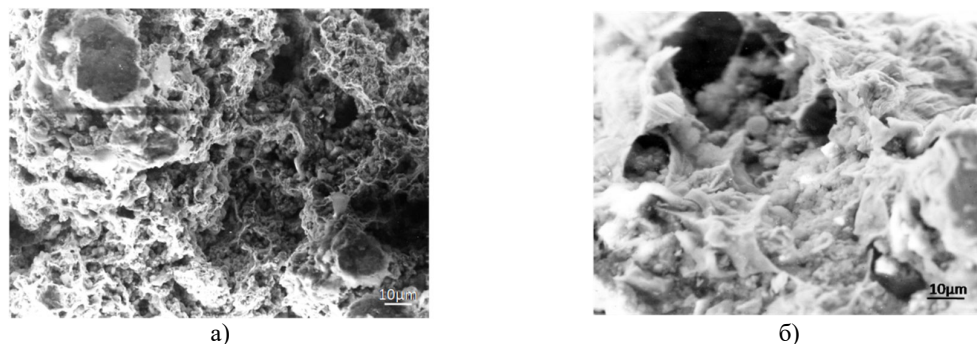


Фигура 1. Фрактограми от образци от сплав Zn-0,5%Cd-0,5%Mn при: а) $T=280^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 1.10^{-2}\text{s}^{-1}$; б) $T=280^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 2,5.10^{-2}\text{s}^{-1}$; в) $T=325^\circ\text{C}$ и $\dot{\epsilon} = 7,5.10^{-2}\text{s}^{-1}$.

Понижаването на скоростта на деформация води до образуването на равноосни пукнатини, в резултат на което те добиват вид на пори. Това е резултат от

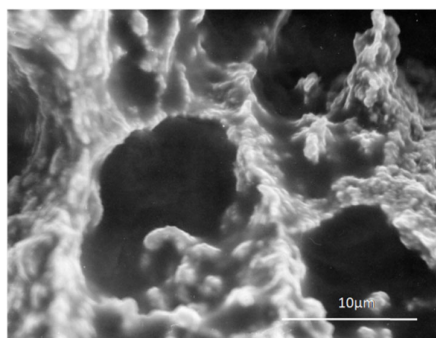
релаксационните процеси, протичащи в зърнограничната структура. При липса на процеси на релаксация се образуват клиновидни пукнатини. Според извършени изследвания при студено разрушаване за тази сплав клиновидните пукнатините са типични за крехко разрушаване [5]. С увеличаване температурата на деформация се наблюдава едноосно развитие на пукнатини, формирани във вид на пори (фиг. 1 в).

Представени са фрактограми на разрушаването на сплав Al-33%Cu при оптимални (фиг. 2 а) и неоптимални (фиг. 2 б) условия на гореща деформация. Вижда се разликата в характера на лома. При оптимални условия на протичане на гореща пластична деформация пукнатините имат чашкообразен вид, а при неоптимални условия пукнатините имат клиновиден вид.



Фигура 2. Фрактограма от образец от сплав Al-33%Cu, подложен на оптимален режим на гореща деформация (а) и при неоптимален режим на гореща деформация (б).

Типичния за свръхпластична деформация вид на лома е показан на фиг. 3. Образецът от сплав Zn-22%Al, чиито лом е показан на фигурата, е деформиран при оптималните температурно-скоростни условия и показва относително удължение при разрушаване $\delta=2125\%$. Вижда се характерното за свръхпластично разрушаване формиране на микрошийка в чашковидната структура и образуване на равноосни пори, които имат тенденция към сливане и оедряване.



Фигура 3. Фрактограма от образец от сплав Zn-22%Al, подложен на оптимален режим на гореща деформация .

На фрактограмите, получени при оптимални температурно-скоростни условия за гореща пластична деформация, се наблюдават пластични зони, характерни при наличие на кристалографско плъзгане. Пластичните зони са доказателство за наличие на пресичане на границите от матрични дислокации [3].

4. Заключение

При високотемпературна деформация на дребнозърнести сплави пукнатините интегрално преразпределят енергията, която оптимално се разсейва в образуването на пори чрез релаксационните процеси в зърнограничните повърхности.

Фрактограмите на дребнозърнестите материали след гореща деформация в оптимален за релаксационните процеси температурно-скоростен интервал, имат характерен чашковиден лом. Излизането на процеса на деформация извън оптималните температурно-скоростни условия води до поява на пластичен лом, който е показател за активизиране на кристалографско плъзгане.

Благодарности:

Изследването е частично финансирано по проект Център за върхови постижения „Национален център по мехатроника и чисти технологии“ по ОП „Наука и образование за интелигентен растеж 2014-2020“.

Литература

1. Чередниченко В. Л. , Металоведение. Технология конструкционных материалов, Омега Л, 2006.
2. Guan Z. P., Ma P., Song Y., Analysis of fracture during superplastic tension, Acta Metallurgica Sinica 49(8), 2013
3. Орлов А. Н. и колекив, Границь зерен в металлах, Металургия, 1980
4. Спиоров И. Г. и колектив, Установка за изпитване на свръхпластични метали и сплави, НС на ВНВУ, Велико Търново, 1981
5. Дюлгеров Н. Н. и колектив, Изследване на разрушаването на цинкова сплав при свръхпластична деформация, Материалознание и технология, кн. 14, 1982