

PACS: 61.72.Mm, 81.40.Lm

И.И. Папиров, В.С. Шокуров, А.И. Пикалов, С.В. Сивцов,
В.А. Шкуропатенко

УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ МАГНИЕВЫЙ СПЛАВ И ТАНТАЛ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Институт физики твердого тела, материаловедения и технологий
ул. Академическая, 1, г. Харьков, 61108, Украина
E-mail: papirov@kipt.kharkov.ua

Методами интенсивной программированной деформации получены заготовки ультрамелкозернистых магниевого сплава (размер зерен 0.5–1 мкм) и тантала (размер зерен 3–5 мкм). Показано, что такие материалы обладают повышенными механическими характеристиками: сплав магния – предел прочности 330 МПа, относительное удлинение 20%; тантал – соответственно ~ 600 МПа и 30–35%.

Введение

В настоящее время для лечения и профилактики инфаркта миокарда широко применяется установка коронарных стентов [1]. К стентам предъявляются достаточно высокие требования: высокая гибкость (для легкого продвижения по кровеносной системе к месту установки), высокая пластичность (для обеспечения возможности увеличения диаметра стента до необходимого размера в месте установки), высокие прочность и жесткость (для обеспечения радиальной устойчивости в процессе эксплуатации), высокая рентгеноконтрастность (для хорошей видимости в ангиографе и рентгеновском томографе), биосовместимость с организмом (для предотвращения возможных реакций отторжения стента).

Стенты могут быть изготовлены из нержавеющей стали, сплавов кобальта, никеля, титана, тантала, магния и др. Как конструкционная основа коронарных стентов каждый из перечисленных материалов имеет свои преимущества и недостатки. Тантал – один из немногих материалов, приемлемых для решения проблем биосовместимости и рентгеноконтрастности стентов, однако механические характеристики этого материала не удовлетворяют техническим условиям, предъявляемым к таким устройствам. Низкие прочность и пластичность сплавов магния также сдерживают применение этого металла в качестве основы современных биорастворимых стентов [2].

Целью данной работы является получение ультрамелкозернистых магниевого сплава и тантала с повышенными прочностными и пластическими характеристиками для их использования в качестве материала медицинских стентов.

Магниевый сплав

Исходный сплав WE-43 из группы магний-иттрий-редкоземельные металлы (иттрий – 3.7%, РЗМ – 2.8%, примеси (Cu, Ag, Si, Zr и др.) – до 1.5%, остаток – магний) имеет следующие механические свойства при растяжении: предел текучести – 195 МПа, предел прочности – 276 МПа, удлинение до разрушения – 16%. Средний размер зерна равен 10 μm .

Известно, что прочность и пластичность металла резко повышаются при уменьшении размера его зерна. Отношения между пределом прочности σ_b и размером зерна d определены уравнением Петча–Стро:

$$\sigma_b = \sigma_{0b} + k_b d^{-1/2},$$

где σ_{0b} и k_b – постоянные материала.

Ранее И.И. Папилов и Г.Ф. Тихинский предложили два метода получения ультрамелкозернистого бериллия: программированной разнонаправленной деформации [3] и интенсивной пластической деформации [4].

Эти методы измельчения зерна мы использовали для магниевого сплава: программированную пластическую деформацию по схеме чередования выдавливания и осадки исходной заготовки при постепенно понижающейся температуре деформации и интенсивную деформацию с использованием равноканальной угловой пресс-формы. После 5 циклов выдавливания и осадки при температуре 350–380°C размеры зерен в разных зонах заготовки магниевого сплава составляют 1–10 μm . При этом прочность такого материала в деформированном состоянии превышает 300 МПа, а пластичность резко понижается (удлинение $\delta = 7\%$). Лучшие результаты были получены после циклической деформации магниевого сплава в равноканальной угловой пресс-форме (рис. 1, 2). С увеличением количества циклов равноканальной угловой деформации заметно измельчается средний размер зерна (до 0.5–1 μm). При этом происходит рост прочностных (на 25%) и пластических (на 25%) характеристик по сравнению с исходным материалом (табл. 1).

Тантал

Из исходного крупнозернистого слитка тантала чистотой > 99.9% вырезали цилиндрические заготовки диаметром $\varnothing 28.5$ mm и длиной 67 mm. Образцы деформировали путем чередующихся выдавливания и осадки при температурах в области 800–700°C. Во избежание образования микротрещин заготовки подвергали вакуумному рекристаллизационному отжигу, температуру которого на разных стадиях деформации варьировали в области 950–800°C. После нескольких циклов осадки–выдавливания заготовки тантала

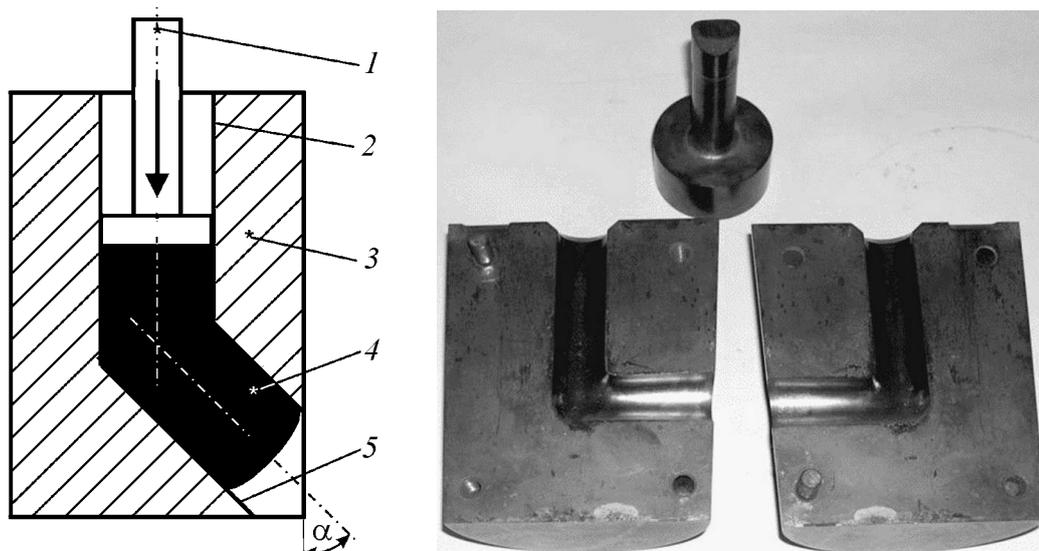


Рис. 1. Схема деформации при равноканальном угловом (угол $\alpha = 45\text{--}90^\circ$) выдавливании: 1 – плунжер, 2 – входной канал, 3 – пресс-форма, 4 – деформируемый образец, 5 – выходной канал

Рис. 2. Пресс-форма для углового выдавливания

Таблица 1

Механические свойства магниевого сплава исходного и после равноканального углового выдавливания

Метод обработки	Количество циклов	σ_b , МПа	σ_y , МПа	δ , %	Размер зерна, μm
Исходный, промышленный	–	265	195	16	7–15
Равноканальное угловое выдавливание:					
исходный, деформированный	4	301	265	11	–
отжиг: 250°C, 1 h	–	290	230	16	3–4
360°C, 1 h	–	270	200	18	3–4
400°C, 1.5 h	–	245	171	21	3–5
исходный, деформированный	8	327	305	9	–
отжиг: 250°C, 1 h	–	285	236	21	2–3
исходный, деформированный	12	340	291	12	–
отжиг: 310°C, 1 h	–	330	270	20	0.5–1
360°C, 1 h	–	298	253	25	0.5–1

подвергали экструзии с $\varnothing 40\text{ mm}$ до $\varnothing 8\text{ mm}$ (в три приема), а затем последовательно – волочению до $\varnothing 6\text{ mm}$, прокатке на ручьевых валках до $\varnothing 4\text{ mm}$ и финишному волочению до $\varnothing 0.72\text{ mm}$ (с деформациями от 50 до 75% за цикл между промежуточными отжигами). Указанные операции выполняли при комнатной температуре с использованием очехлованных заготовок.

При исследовании механических свойств полученного мелкозернистого тантала было обнаружено его сильное деформационное упрочнение в наклепанном состоянии. В этом состоянии предел текучести тантала составляет

920 МПа, предел прочности – 980–990 МПа, а относительное удлинение – 1–3%. Рекристаллизационный отжиг понижает предел текучести до 290 МПа, предел прочности – до 530 МПа и повышает относительное удлинение до 26–30%. В табл. 2 приведены механические свойства мелкозернистого тантала, полученные на плоских стандартных образцах с базой 10 мм, в зависимости от температуры и продолжительности рекристаллизационных отжигов. Наилучшее сочетание прочностных и пластических свойств тантала получено после отжига при температуре 820°C, длительностью 6 h и температуре 870°C, длительностью 1.5 h.

Таблица 2

Изменение механических свойств тантала в зависимости от режимов рекристаллизационных отжигов

Температура отжига, °С	Продолжительность, h	Предел текучести	Предел прочности	Относительное удлинение, % (на базе 50 мм)
		МПа		
800	1	309	613	25.5
820	1.5	435	677	17.0
820	3	275	550	25.5
820	6	292	597	29.6
870	1.5	287	531	28.5
900	1	261	486	24.5
950	1	263	461	30.1

Таким образом, был получен мелкозернистый (средний размер зерна 3–5 μm) тантал с прочностью около 600 МПа и относительным удлинением, приближающимся к 30% (на образцах с базой 30 мм удлинение достигает 35%). Такой тантал полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к материалам стентов.

Выводы

1. Получены ультрамелкозернистые магниевый сплав (размер зерен 0.5–1 μm) и тантал (размер зерен 3–5 μm) путем использования методов интенсивной программированной термомеханической обработки.

2. Ультрамелкозернистые материалы обладают улучшенными механическими характеристиками и могут быть использованы в качестве материалов коронарных стентов.

1. *Handbook of coronary stents*, P.W. Serrugs, V.Y. Kutzuk, M. Dunitz (eds.), Thorax Center Group, London (1998).
2. *B. Heublein, R. Rohde et al.*, Heart (British Cardiac Society) **89**, 651 (2003).
3. *И.И. Папиров, Г.Ф. Тихинский*, ФММ **29**, 1057 (1970).
4. *И.И. Папиров, Г.Ф. Тихинский*, Пластическая деформация бериллия, Атоиздат, Москва (1973).

I.I. Papirov, V.S. Shokurov, A.I. Pikalov, S.V. Sivtsov, V.A. Shkuropatenko

УЛЬТРАДРІБНОЗЕРНИСТІ МАГНІЄВІ СПЛАВИ І ТАНТАЛ, ОТРИМАНІ ІНТЕНСИВНОЮ ПЛАСТИЧНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ

Методами інтенсивної програмованої деформації отримано заготовки ультрадрібнозернистих магнієвого сплаву (розмір зерен 0.5–1 μm) і танталу (розмір зерен 3–5 μm). Показано, що такі матеріали мають підвищені механічні характеристики: сплав магнію – границя міцності 330 МПа, відносне подовження 20%; тантал – відповідно ~ 600 МПа та 30–35%.

I.I. Papirov, V.S. Shokurov, A.I. Pikalov, S.V. Sivtsov, V.A. Shkuropatenko

ULTRAFINE-GRAINED MAGNESIUM ALLOY AND TANTALUM PRODUCED BY SEVERE PLASTIC DEFORMATION

Ultrafine-grained preforms of magnesium alloys (grain size 0.5–1 μm) and tantalum (grain size 3–5 μm) have been produced by methods of programmed severe deformation. It shown that such materials have improved mechanical characteristics: magnesium alloy – strength 330 МПа, elongation 20%; tantalum – ~ 600 МПа and 30–35%, respectively.

Fig. 1. Deformation scheme for equal-channel angular (angle $\alpha = 45\text{--}90^\circ$) extrusion: 1 – ram, 2 – input channel, 3 – mould, 4 – deformed specimen, 5 – output channel

Fig. 2. A mould for angular extrusion