

УДК 539.3

## ТЕКСТУРА И ФЕСТОНООБРАЗОВАНИЕ В ВАКУУМПЛАВЛЕННОЙ И МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ ИТТРИЕМ МЕДИ ПЛОСКОГО ПРОКАТА

© Н.В. Камышанченко<sup>1)</sup>, В.А. Беленко<sup>1)</sup>, М.И. Дурыхин<sup>1)</sup>,  
А.В. Гальцев<sup>1)</sup>, И.М. Неклюдов<sup>2)</sup>, Б.В. Борц<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

<sup>2)</sup> ННУ ХФТИ АН, Украина, e-mail: galtsev@bsu.edu.ru

*Ключевые слова:* текстура; иттрий; микролегирование; фестонообразование.

Работа посвящена исследованию фестонообразования и текстуры в вакуумплавленной и микролегированной металлургическим иттрием ИтМ-1 меди плоского проката.

Большая часть листов и лент из меди, полученных прокаткой заготовок после вакуумно-индукционной переплавки, используются в электронной промышленности для изготовления деталей методом штамповки с глубокой вытяжкой. Листовой материал должен удовлетворять комплексу требований: иметь оптимальный размер зерна, необходимый запас пластичности и уровень прочности должен быть изотропным. Анизотропия свойств, обусловленная текстурой деформации или текстурой рекристаллизации листа, приводит к образованию на готовом изделии «фестонов» [1]. Анизотропию свойств листовых материалов уменьшают путем перекрестной прокатки. В условиях производства длинномерных лент с анизотропией свойств борются путем рационального выбора режимов механико-термической или термической обработки материала.

Большое влияние на анизотропию материалов оказывают примеси [1–3]. Наряду с положительными свойствами высокочистая вакуумплавленная медь име-

ет целый ряд недостатков. Улучшить многие физико-механические и технологические характеристики можно легированием. По ряду параметров многим современным требованиям к меди удовлетворяет микролегирование иттрием и скандием.

Для оптимального определения оптимального содержания иттрия исследовали температуру солидуса для полученных сплавов по микроструктуре закаленных образцов. Оптимальное содержание для применяемых современных технологических процессов должно находиться в пределах 0,01–0,02 %.

В качестве исходного материала для получения слитков меди марки МВ и микролегированной ММВ использовали катодную медь марки М1к и металлический иттрий ИтМ-1. Переплавку осуществляли в вакуум-индукционной печи. Полученные слитки подвергались ковке при 700 °С на сутунку размером 30×80×180 мм и горячей прокатки при 700 °С с обжатием 25 % за пропуск на сутунку толщиной 30 мм.

Таблица 1

Материал	Температура отжига, °С	$\sigma_B$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	Глубина вдавливания, мм при диаметре пуансона 20 мм	$\rho$ при 20 °С, Ом·м·10 <sup>9</sup>	$\gamma = \frac{\rho_{300K}}{\rho_{4.2K}}$
МВЭ	б.о	42,6	35,8	3,6	6,5–6,8	16,86–17,61	100–290
	300	22,4	7,3	56,4	7,8–8,4		
	500	19,2	4,6	52,7	9,2–9,9		
	600	17,7	3,5	48,5	9,5–9,9		
ММВ с 0,01% иттрия	б.о	43,4	37,6	2,9	6,3–6,7	16,94–17,35	160–240
	300	27,5	6,8	48,5	7,2–7,8		
	500	20,5	5,6	49,0	9,3–9,8		
	600	19,6	4,7	48,6	9,5–9,9		
ММВ с 0,02% иттрия	б.о	42,8	37,7	3,0	6,3–6,8	16,90–17,23	160–260
	300	25,9	15,8	28,7	7,5–7,9		
	500	21,8	6,0	61,0	9,5–9,9		
	600	21,0	4,9	56,5	9,4–9,9		

Для получения полос применяли холодную (20 °С) прокатку кованных и прокатанных сутунок до 3 мм на стане сортовой прокатки ТРИО 180 с обжатием за пропуск 15–20 %. Полученные полосы отжигали в вакууме при 600 °С в течение 1 часа и подвергали холодной прокатке на ленты толщиной 0,5–0,3 мм на стане сортовой прокатки ТРИО 180 с обжатием за пропуск ~20 %.

Результаты испытания показали, что последующий отжиг влияет на механические, технологические и электрические характеристики микролегированной меди в сравнении с более дорогим способом, каким является вакуумный электроннолучевой (МВЭ) способ переплавки (табл. 1), а именно: прочностные свойства лент меди ММВ с добавками 0,01 и 0,02 % иттрия на 10–15 выше показателей меди МВЭ, полученных по одинаковым режимам.

Исходя из того, что требованием к штампуемому материалу для лент толщиной 0,3–1,0 мм глубина выдавливания сферической лунки (по методу Эриксона) должна быть не менее 7 мм при пуансоне диаметром 30 мм, исследуемый материал удовлетворяет этим требованиям.

Значения удельного электросопротивления  $\rho_{20^\circ\text{C}}$  и значение относительного электросопротивления

$$\gamma = \frac{\rho_{300\text{K}}}{\rho_{4,2\text{K}}}$$

после отжига в вакууме при 500 °С в течение

часа несколько лучше в меди МВЭ в сравнении с медью ММВ, но легирование меди малыми (0,01–0,02 %) добавками иттрия снижает разброс значений электрических характеристик, которые имеются в меди МВЭ.

Таким образом, легирование меди МК после вакуумно-индукционной переплавки оптимальными величинами иттрия (0,01–0,02 %) способствует улучшению прочностных и электрических характеристик в сравнении с медью вакуумно-электронно-лучевой переплавки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова В.М. Промышленные цветные металлы и сплавы. М.: Metallurgy, 1974. 488 с.
2. Вассерман Г., Гревен И. Текстура металлических материалов: пер. с нем. / под ред. М.М. Бродкиной. М.: Metallurgy, 1969. 657 с.
3. Микляев П.Г., Фридман Я.Б. Анизотропия механических свойств металлов. М.: Metallurgy, 1986. 224 с.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Работа выполнена в центре коллективного пользования БелГУ (при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. государственный контракт № П2275 от 13 ноября 2009 г.) и в ННЦ ХФТИ АН, Украина в соответствии с договором между БелГУ и ННЦ ХФТИ.

Поступила в редакцию 15 апреля 2010 г.

Kamyshanchenko N.V., Belenko V.A., Durykhin M.I., Galtzev A.V., Neklyudov I.M., Bortz B.V. Texture and earing in vacuum and microalloyed with yttrium flat-rolled copper.

The paper presents the research on earing and texture in vacuum of smelted and microalloyed with metal yttrium flat-rolled copper.

*Key words:* texture; yttrium; microalloying; earing.