

мишметаллом увеличило его твёрдость на 12,8 %, а действие легирования и магнитного поля на 24,6 %.

УДК 669.131.5:537.34

**В. А. Середенко, С. Г. Голубчик**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ ЭЛЕКТРОТОКОВОЙ ОБРАБОТКЕ НЕБОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ РАСПЛАВОВ**

Подвод электротока в электропроводные расплавы электродами, погруженными под их уровень, наиболее применяемый способ в ряде процессов электрообработки, в частности, небольших масс металла (до 100 кг). Основным условием при использовании электропроводных материалов для электродов является их стойкость в агрессивных расплавах при воздействии электротока. Исключением являются технологии, в которых электроды разрушаются (расплавляются) в жидкой среде (электрошлаковое литье, ввод лигатур). Наиболее распространенная схема ввода электротока в металлические расплавы в литейных ковшах и формах – бифилярная. Диаметр ( $d_э$ ) стержневых электродов – от 2 мм (нихром) до 30 мм (сталь), плотности в них электротока  $i$  от  $5 \cdot 10^4$  до  $1 \cdot 10^7$  А/м<sup>2</sup>. В условиях медленного течения расплава (критерии  $Re < 100$  и  $Nu \approx 1$ ) в приэлектродных зонах критерий Био ( $Bi$ ), характеризующий отношение внутреннего (электрода) и внешнего (расплава) термических сопротивлений, определяется как  $Bi = \lambda_p / \lambda_э$ , где  $\lambda_p$  и  $\lambda_э$  соответственно теплопроводности расплава и электрода. Результаты анализа электрических и термических характеристик типичных электродов приведены в табл. 1. Для определения степени неравномерности распределения электротока в электродах и связи с соотношением  $K_э$  проведены опыты по вводу электротока в жидкий галлий. Электродами служили стержни диаметром от 1,8 до 3,0 мм при значении  $i$  до  $1,2 \cdot 10^7$  А/м<sup>2</sup> – табл. 2. Установлено, что возникновение локального перегрева электрода и расплава в приэлектродной зоне происходит вследствие неоднородного распределения электротока по высоте электрода и характеризуется значением  $K_э \gg 1$ . При этом почти весь ток стекает с электрода в тонкой зоне его контакта с зеркалом расплава. Вследствие этого плотность тока в ней резко возрастает, что корре-

лирует по величине со значением  $K_3$ . Так как в данной зоне электросопротивление контактного промежутка электрода и расплава велико это может приводить при высоких значениях  $i$  к существенному нагреву электрода у зеркала расплава и локальному окислению как части поверхности электрода, так и расплава.

Таблица 1 – Некоторые характеристики погружных электродов при электрообработке небольших масс расплавов.

Обрабатываемый расплав	Материал электродов	Соотношение свойств расплава и электродов		Термическая характеристика тела электрода
		удельное электросопротивление, $K_3$	теплопроводность, $K_\lambda$	
Сталь	Вольфрам	24	0,15	$0,01 \leq K_\lambda \leq 0,25$ - тонкое
	Сталь	12	0,42	$0,25 < K_\lambda < 0,5$ - между тонким и массивным
	Чугун	2,8	0,39	-«-
	Сталь	14,8	0,56	$K_\lambda > 0,5$ - массивное
	Графит	0,2	0,25	$K_\lambda = 0,25$ - тонкое
	Нихром	1,5	3,13	$K_\lambda > 0,5$ - массивное
Алюминий	Сталь	2,8	1,39	$K_\lambda > 0,5$ - массивное
	Графит	0,04	~ 1	-«-

Таблица 2 – Характеристики электродов при вводе электротока в расплав галлия.

Электроды	$K_3$	$K_\lambda$	Распределение тока в электроде	Термическая характеристика тела электрода
Графит	0,034	0,4	неравномерное	тонкое-массивное
Нихром	0,27	5	-«-	массивное
Константан	0,54	1,25	-«-	-«-
Медь	15,9	0,08	равномерное	тонкое

Определено, что снижению перегрева и окисления материала электрода способствует использование электродов с  $K_3 \leq 1$  и  $K_\lambda \geq 1$ , а также ограничение плотности электротока. При использовании электродов с  $K_3 \gg 1$  погружение их в расплав более чем на  $2d_3$  неэффективно, т.к. электрический ток преимущественно перетекает из электрода в расплав в зоне его зеркала.