



Experimentally found that the effect of nanosecond electromagnetic pulses to melt the charge, while the carbon thermal recovery of the tin ore, accelerates the formation of the metallic phase.

*В. Г. КОМКОВ, Тихоокеанский государственный университет,
В. В. ГОСТИЦЕВ, Институт материаловедения ДВО РАН,
ХОСЕН РИ, Э. Х. РИ, С. В. ДОРОФЕЕВ, Г. А. КНЯЗЕВ, Тихоокеанский государственный университет*

УДК 669

ВЛИЯНИЕ НАНОСЕКУНДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ПОЛУЧЕНИЕ ОЛОВА И СВОЙСТВА ЕГО СПЛАВОВ

Воздействие наносекундных электромагнитных импульсов (НЭМИ) на вещества в различном агрегатном состоянии вызывает значительные изменения их свойств. Влияние НЭМИ на металлы и сплавы является предметом исследования ряда работ, где показано, что физико-механические свойства металлов (плотность, твердость и др.) заметно изменяются под влиянием излучения [1–4]. Специфическая особенность излучения – большая мощность и малая длительность импульса (0,5 нс), которая приводит к возникновению импульсных электромагнитных полей с напряженностью 10^8 – 10^{10} В/м в некоторые моменты времени. При этом 80% энергии импульса поглощается средой (например, расплавом металла). Под действием этих полей возможно целенаправленное изменение физико-механических свойств металлов и сплавов. Наряду с этим значительный интерес представляет исследование влияния НЭМИ на высокотемпературное восстановление исходного сырья при получении металла. В частности, целью настоящей работы является изучение влияния НЭМИ на параметры углетермического восстановления касситерита в среде ионного расплава и свойства получаемых сплавов.

В качестве исходного сырья в экспериментах использовали касситеритовый концентрат, состав которого приведен в табл. 1.

Таблица 1. Минералогический состав касситеритового концентрата

Содержание основных компонентов, мас. %				
SnO ₂	FeWO ₄	SiO ₂	PbS, CuS	Na(Fe, Mg) ₄ Al ₂ [Si ₆ Al ₃ B ₃ O ₂₇ OH ₃] (турмалин)
36	8	23	12	11

Источником энергии излучения служил генератор НЭМИ типа GNP со следующими характеристиками: длительность импульса 0,5 нс, амплитуда более 8 кВ, частота повторения импульсов 1000 Гц. Излучатель коаксиального типа выполнен в виде стальных стержней диаметром 4 мм, помещенных в кварцевую пробирку диаметром 6 мм. Длина стержней 300 мм.

Восстановительную плавку касситеритового концентрата ведут согласно разработанному методу в среде солевого расплава Na₂CO₃ – NaNO₃ (1:0,3) [5]. Шихта для выплавки олова имеет следующий состав: на одну массовую долю (м. д.) концентрата приходится 0,2 м. д. угля, 0,3 м. д. карбоната натрия, 0,1 м. д. нитрата натрия. Шихту плавят при 850–950 °С в течение 1–1,5 ч и в результате получают черновое олово, состав которого приведен в табл. 2. Восстановительную плавку в условиях облучения ведут, погружая электроды генератора НЭМИ в расплав. Продолжительность облучения меняют от 10 до 30 мин. Опыты показывают, что облучение расплава в процессе восстановительной плавки ускоряет формирование металлической фазы, максимум выхода которой достигается в течение 30–35 мин с момента расплавления шихты (рис. 1). Кроме того, экспериментально установлено, что черновое олово, полученное при облучении расплава шихты НЭМИ, имеет элементный состав, отличный от исходного (табл. 2). При этом по мере роста продолжительности облучения от 10 до 30 мин наблюдаются повышение содержания олова в черновом сплаве и некоторое снижение содержания примесных элементов (табл. 2).

Рентгенофазовый анализ черного олова, полученного при облучении, показал, что олово со-

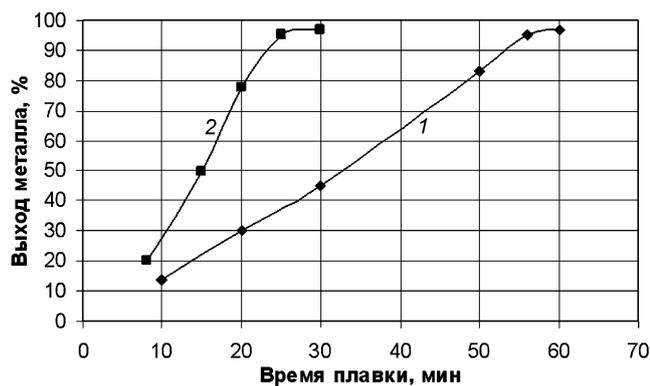


Рис. 1. Зависимость выхода металла от времени плавки: 1 – без облучения, 2 – с облучением

Т а б л и ц а 2. Элементный состав чернового олова

Условия получения чернового олова	Состав металлической фазы, мас.%				
	Sn	Pb	Cu	Fe	Si
Без облучения	92,5	0,20	0,52	2,97	1,12
Облучение НЭМИ в течение 10 мин	94,35	0,1	0,43	2,50	–
Облучение НЭМИ в течение 30 мин	95,20	0,1	0,36	2,10	–

держит интерметаллическую фазу FeSn₂ (табл. 3). Это несколько усложняет условия дальнейшего передела чернового олова. Например, требует повышения температуры переплава до ~ 500–600 °С. Продукт переплавки чернового олова использовали для получения оловянной бронзы (Cu + 6%Sn). Затем исследовали влияние продолжительности облучения расплава оловянной бронзы НЭМИ на физико-механические свойства сплава: плотность, твердость и теплопроводность. Зависимости этих величин от продолжительности облучения расплава приведены на рис. 2.

Из рисунка следует, что теплопроводность бронзы, облученной в жидком состоянии НЭМИ в течение 15 мин, возрастает в 2 раза, а твердость – в 1,24 раза; максимальная плотность (8,93 г/см³) также наблюдается при 15-минутной обработке жидкой бронзы.

Для объяснения возможного механизма проявления эффекта активации углетермического восстановления касситерита целесообразно рассмотреть влияние НЭМИ на расплавы с позиции современных представлений о модели жидкого состояния вещества. Квазикристаллическая модель – расплавы, в том числе ионные, как сочетание двух составляющих: кластеров (объектов с упорядоченным расположением частиц структуры ближнего порядка) и разделяющей кластеры разупорядоченной зоны с хаотичным расположением частиц. Кластеры и бесструктурная зона термодинамически мало устойчивы и способны ло-

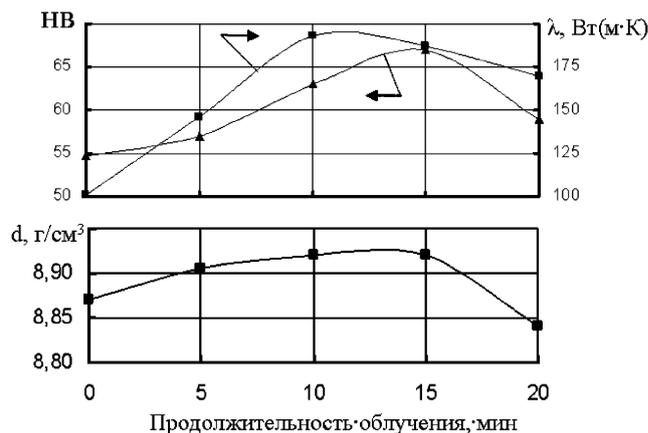


Рис. 2. Зависимость физико-механических свойств бронзы от продолжительности облучения расплава НЭМИ

Т а б л и ц а 3. Рентгенографические характеристики олова, полученного при облучении

Межплоскостное расстояние d_1 , Å	Относительная интенсивность J/J_0	Фазовый состав
2,8961	16,4	Sn
2,7744	100	Sn
2,6446	1,7	FeSn ₂
2,5471	4,2	FeSn ₂
2,294	1,6	FeSn ₂
2,0528	17,1	Sn
2,0082	71,6	Sn
1,6531	19,9	Sn
1,5107	1,6	FeSn ₂
1,4796	39,3	Sn
1,4538	4	Sn
1,4377	19,5	Sn
1,3278	0,6	FeSn ₂
1,3009	5	Sn
1,2894	10,8	Sn
1,202	27,7	Sn
1,181	0,7	FeSn ₂
1,0932	5,7	Sn
1,0418	1,9	Sn
1,0384	2,5	Sn
1,0237	2,2	Sn

кально перерождаться друг в друга [6]. Под воздействием НЭМИ возможно возникновение в расплаве энергетических флуктуаций, изменение структуры ближнего порядка, уменьшение размеров кластеров, сокращение продолжительности их жизни. Уменьшение доли кластеров приводит к изменению свойств расплавов: снижению вязкости, поверхностного натяжения, повышению растворимости элементов в жидкой фазе. Изменение энергетического состояния расплава под воздействием НЭМИ уменьшает поверхностную энергию на границе раздела фаз расплав – кристалл. Это обуславливает формирование дополнительных центров кристаллизации и ускоряет образование металлической фазы [7], что наблюдается

в эксперименте по получению олова в ионном расплаве.

Выводы

Экспериментально установлено, что воздействие наносекундных электромагнитных импульсов (НЭМИ) на расплав шихты в процессе угле-термического восстановления касситерита ускоряет формирование металлической фазы. При

этом по мере роста продолжительности облучения, до 30 мин, содержание олова в черновом сплаве повышается до ~95%. Выявлено влияние облучения расплава бронзы на ее плотность, твердость и теплопроводность. Показано, что воздействие НЭМИ на расплав бронзы в течение 10–15 мин повышает плотность сплава до 8,92 г/см³, твердость – в 1,24 раза, теплопроводность – в 2 раза.

Литература

1. Белкин В. С. Наносекундные электромагнитные импульсы и их применение. Челябинск: Татьяна Лурье, 2001.
2. Знаменский Л. Г. Электроимпульсные нанотехнологии в литейных процессах. Челябинск: Изд-во ЦНТИ, 2003.
3. Крымский В. В. // Доклады Российской академии наук. 2002. Т. 385. № 6. С. 786.
4. Ри Э. Х. // Металлургия машиностроения. 2006, № 4. С. 18.
5. Пат. 2333268 (РФ). Способ получения олова из касситеритового концентрата / В. В. Гостищев, Э. Х. Ри, С. В. Дорофеев, В. Г. Комков, Ри Хосен, 2008.
6. Ладьянов В. И. // Физика металлов и металловедение. 1972. Т. 34. Вып. 5. С. 1060.
7. Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. Л.: Наука, 1975.