

**ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ ПРИ  
МОДИФИЦИРОВАНИИ РАСПЛАВОВ ПЕРИОДИЧЕСКИМ  
ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ**

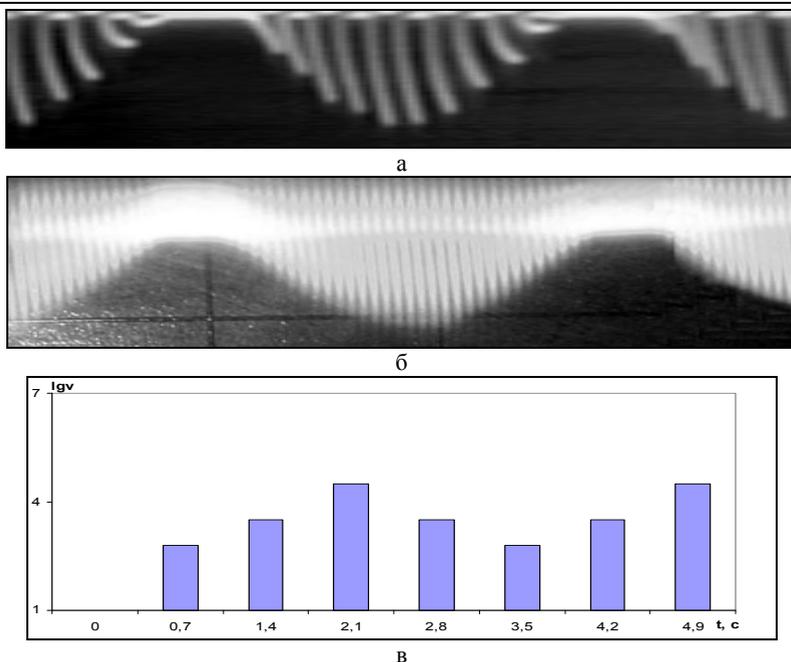
**С.С. Петров\*, к. т. н., А.Г. Пригунова\*\*, д. т. н., с. н. с.**

*\*Национальная металлургическая академия Украины*

*\*\*ФТИМС НАНУ*

Известно модифицирующее влияние жидкофазной обработки однополярным импульсным электрическим током на структуру силуминов [1-2]. В работах [3-4] дано объяснение обнаруженному эффекту с позиций теории жидкого состояния. Методика динамических [1-2] и статических экспериментов [5-6] заключалась в воздействии на расплав электрическим током, отличающимся различной частотой и формой импульсов (Рис. 1, 2). При этом в пределах одного опыта частота импульсов ( $\nu$ ) электрического тока являлась величиной постоянной. Ранее установлено, что при  $\nu \gg 1000$  Гц в отдельных локальных микрообъемах ( $\approx 1\%$ ) происходит измельчение структурных составляющих, линейный размер которых уменьшается не в 2-2,5 раза, как наблюдалось в [1-2], а на порядки. Задачей настоящего исследования являлось получение подобной тонкодифференцированной структуры во всем объеме отливки. Предметом исследований служили сплавы Al - (15-18,5) % Si.

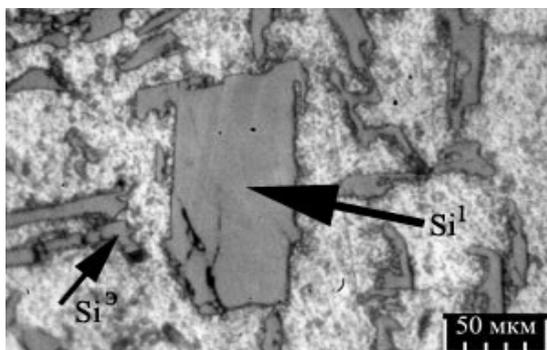
При решении обозначенной проблемы учитывали два обстоятельства, обусловленных физической природой импульсного электрического тока. С одной стороны, при прохождении высокочастотного электрического тока по проводнику он сосредотачивается на его поверхности, с другой – процесс переноса электрических зарядов обладает инерцией [3]. Беря во внимание эти факторы, разработаны режимы импульсной обработки расплава, отличающиеся от режимов воздействия электрическим током, использованным в [1-4]. В основе новых параметров воздействия периодическое (циклированное) изменение частоты импульсов по определенному временному закону, один из вариантов которого представлен на рисунке 1 в. По абсолютной величине импульсы электрического тока соответствовали «низко – средне - высокочастотным» импульсам, подача которых осуществлялась с определенной периодичностью ( $\nu \approx 10-15$  Гц). В исследованных образцах (в зависимости от плотности тока) выявлено три основных типа структур. При достаточно низких плотностях электрического тока, обозначенных в дальнейшем (I, j $\downarrow$ ), обнаружен эффект модифицирования, подобный тому, который наблюдался в работах [2, 4]. Так, в группе «I, j $\downarrow$ » наиболее вероятный размер первичных кристаллов относительно исходного состояния (рис. 2.а) уменьшился с 100-150 мкм до 40-50 мкм при одновременном увеличении степени дифференцировки эвтектики  $\alpha$ -Al + Si в 5-6 раз. После обработки его электрическим током при более высоких плотностях происходит уменьшение размера структурных, которые в значительной степени превосходят аналогичные изменения в сплаве. В последующем новые структурные композиции обозначены, как структурная группа «II, j $\uparrow$ » (средние значения плотности тока), и группа «III, j $\uparrow$ » (высокие значения плотности тока).



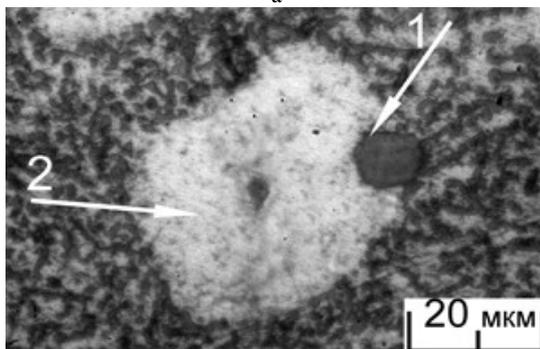
**Рис. 1.** Характер сигналов электрического тока, подаваемых на расплав: а- средние частоты; б- высокие частоты; в- схема изменения частоты импульсов от низких частот к высоким

Если при (II,  $j \uparrow$ ; см. рис.2.б) в структуре силумина присутствуют первичные кристаллы кремния (стрелка 1, линейные размеры  $\approx 10$  мкм; объемная доля  $\approx 1,5\%$ ), то в случае режима (II,  $j \uparrow \uparrow$ ; см. рис.2.в) первичные кристаллы кремния методом световой микроскопии не выявлены (см. рис.2 в).

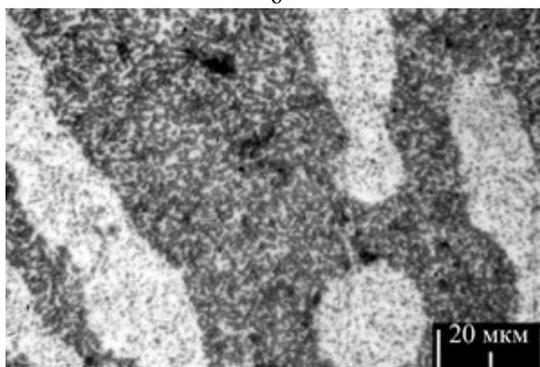
В обоих случаях на значительной площади шлифа ( $\approx 20\%$ ) обнаружены алюминиевые дендриты, которые по морфологическим признакам можно классифицировать, как первичные. Это подтверждают результаты структурного анализа, выполненного при помощи растрового электронного микроскопа РЭМ-106И на образцах, подвергнутых глубокому электролитическому травлению в комплексном электролите (рис. 3). В частности, на рис. 3а (стрелка 1) видно, что эвтектическая колония сформировалась после выделения дендритов алюминиевого раствора. Установлено, что для обоих режимов обработки характерно значительное увеличение степени дифференцировки эвтектических составляющих. Эвтектический кремний представляет собой трехплоскостной дендрит толщиной 40-300 нм, прорастающие от габитусной плоскости (см. рис 3б). В пределах 1-4 мкм габитусная плоскость изменяет свое направление, в результате чего формируется изотропный наномерный кремниевый каркас.



а

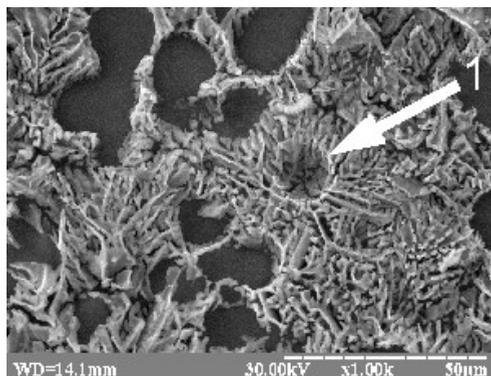


б

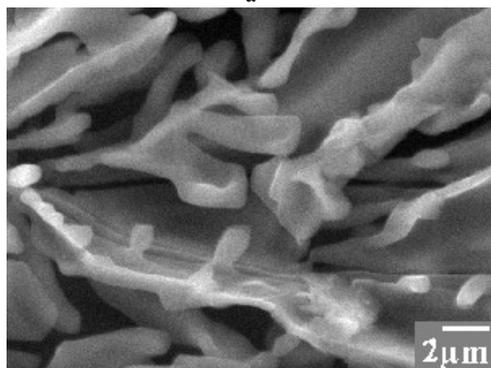


в

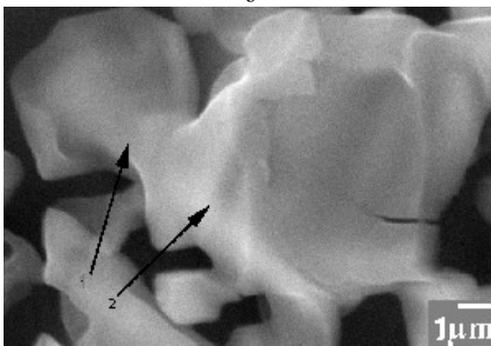
**Рис. 2.** Металлографический анализ структуры сплава Al- 18,5% ( $V_{охл} = 20$  К/мин): а- исходное состояние; б- после обработки периодическим импульсным электрическим током (II,  $j \uparrow$ ); в- после обработки периодическим импульсным электрическим током (III,  $j \uparrow \uparrow$ )



а



б



в

**Рис. 3.** Растровая электронная микроскопия (Al- 18,5%;  $V_{охл} = 20$  К/мин; III, j↑↑)

Это обеспечивает получение материала со значительно более высокой пластичностью. После глубокого электролитического травления выявлены пространственные замкнутые сами на себя кремниевые кристаллы, толщина которых не превышает 40 нм. Зачастую, их форма представляет собою цилиндрические поверхности (см. рис 3), имеющие форму трубок (см. рис. 3в, стрелка 1).

Рентгеноструктурный анализ подтвердил обоснованность структурного разделения на группы, произведенного по металлографическим признакам. Как выяснилось, различия структурных групп более глубоки и связаны с наличием кремниевых кристаллов различных модификаций. С большой долей вероятности можно утверждать, что при реализации режима (II, j↑) образуется политипная модификация кремния, ранее полученная путем закалки в специальной водно-спиртовой среде (JCPDS, 41-1111). При режиме (III, j↑↑) значительная часть Si имеет тетрагональную кристаллическую решетку, характерную для кремния после процесса прессования (JCPDS, 39-0973).

#### **Выводы:**

В результате жидкофазной обработки периодическим однополярным импульсным электрическим током получен новый материал на основе заэвтектического силумина, который по количественным и качественным характеристикам может быть отнесен к классу «нано».

#### **Использованная литература**

1. Петров С.С. Структурообразование доэвтектических силуминов после воздействия на расплав электрического тока / С.С. Петров, А.Г., Пригунова, С.В. Пригунов // МТОМ. – 2006. – № 4. – С. 43-52.
2. Петров С.С. Структура заэвтектических силуминов при модифицировании расплавов электрическим током / С.С. Петров, А.Г. Пригунова, С.В. Пригунов, Д.М. Ключник // МТОМ. – 2007. – № 1. – С. 53-61
3. Петров С.С. К вопросу о механизме модифицирования силуминов обработкой расплавов электрическим током / С.С. Петров, А.Г., Пригунова, С.В. Пригунов // МТОМ. – 2007. – № 4. – С. 26-33.
4. Петров С.С. Структурные и фазовые превращения в силуминах под воздействием жидкофазной обработки электрическим током / С.С. Петров, А.Г. Пригунова С.В. Пригунов, Д.М. Ключник, // Металлофизика и новейшие технологии. – 2008.- Т.30, №8, С.1129-1137.
5. Петров С.С. Концентрационное переохлаждение обработкой расплавов силуминов импульсным электрическим током как перспективный метод получения наноматериалов / С.С. Петров, А.Г., Пригунова, С.В. Пригунов // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнології.- Збірник наукових праць.- Т.9.- Вип. 3.- Київ: Академперіодіка.- 2011, С. 625-633
6. Петров С.С. Структурные превращения в расплавах силуминов при жидкофазной обработке постоянным импульсным электрическим током / С.С. Петров, А.Г., Пригунова, С.В. Пригунов // Труды XIII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов», Екатеринбург, 2011, Т.4, С. 165-168