

**Н. А. Федченко**

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

## **УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВА АК4-1 В ЛИТОМ СОСТОЯНИИ ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ РАСПЛАВА**

*Исследовано влияние электрогидроимпульсной обработки расплава на структуру и свойства деформируемого сплава АК4-1 в литом состоянии. Получено измельчение зерна и степени дисперсности вторых фаз, что приводит к повышению механических свойств в литом состоянии. Учитывая положительные изменения структуры и свойств сплава АК4-1, можно предположить уменьшение затрат на последующую термообработку и деформацию, что является предметом дальнейших систематических исследований.*

**Ключевые слова:** сплав, зерно, термообработка, деформация, структура, электрогидроимпульсная обработка.

*Досліджено вплив електрогідроімпульсної обробки розплаву на структуру та властивості сплаву АК4-1, що деформується у литому стані. Отримано подрібнення зерна та ступеня дисперсності других фаз, що призводить до підвищення механічних властивостей у литому стані. Враховуючі позитивні зміни структури та властивостей сплаву АК4-1, можливо припустити зменшення витрат на наступну термообробку та деформацію, що буде предметом подальших систематичних досліджень.*

**Ключові слова:** сплав, зерно, структура, термообробка, деформація, структура, електрогідроімпульсна обробка.

*Influence of electrical hydro pulse treatment on the structure and properties of AK4-1 alloy in the as-cast condition is studied. Grain grinding and second phase dispersing, which cause increasing the mechanical properties in the as-cast condition are obtained. It is possible that positive changes of AK4-1 structure and properties will decrease the outlay during the following thermal treatment and deformation. It is the subject for subsequent systematic studing.*

**Keywords:** alloy, grain, structure, treatment, deformation, electrohydropulse treatment.

Для повышения качества литого металла используются различные методы внепечной обработки расплава. Свои преимущества имеет электрогидроимпульсная обработка (ЭГИО) жидких черных и цветных металлов, при которой, как ранее показано комплексом исследований [1-3], во время воздействия происходит благоприятное изменение структуры и свойств расплава. Это, в свою очередь, обеспечивает формирование процессов затвердевания и кристаллизации таким образом, что структура и свойства твердого металла существенным образом улучшаются. Подчеркнем здесь, что при ЭГИО порционно с определенной частотой посылок в расплаве генерируется импульсное поле давления, которое имеет широкий спектральный состав – от единиц до сотни кГц [4]. В результате образуются кавитационные эффекты и незначительные течения жидкого металла, что в итоге способствует существенной фрагментации твердой фазы, дегазации расплава, удалению неметаллических включений и повышению его однородности в макрообъеме.

На основании систематических исследований [1], выполненных на промышленных литейных сплавах на основе алюминия, показана эффективность применения метода ЭГИО для повышения технологических и эксплуатационных свойств металла

и конструкционной прочностью изделий, выплавленных в том числе с использованием вторичного сырья. Так, ЭГИО литейных алюминиевых сплавов доэвтектического (АЛ4, АЛ9), эвтектического (АЛ30) и заэвтектического составов (АК21М2,5Н2,5) приводит к повышению его жидкотекучести и равномерности распределения элементов, уменьшению газонасыщенности и пористости от 20 до 40 %, измельчению макро- и микрзерна примерно в 2 раза и к более однородному распределению зерен. Происходит повышение дисперсности эвтектики и ее выделение в коралло-видной форме. Повышается однородность распределения элементов в расплаве. Уменьшается объем Fe-содержащей фазы игольчатой формы, соответственно увеличивается объем интерметаллидов компактной формы, что уменьшает охрупчивание твердого металла. Показано [3], что для литейных алюминиевых сплавов группы Al-Si происходит увеличение растворимости кремния в алюминии, следствием чего является уменьшение объема эвтектической составляющей [3]. Все эти факторы способствуют улучшению свойств сплавов. После ЭГИО происходит одновременное повышение прочностных характеристик в среднем на 5-20 % и пластических характеристик не менее чем на 50 % [1].

В деформируемых сплавах окончательные свойства формируются в процессе последующей деформации и термической обработки, однако и для таких сплавов существенную роль играют технологические характеристики (жидкотекучесть, склонность к образованию горячих трещин, усадка и пористость), от которых зависят такие механические свойства, как предел прочности  $\sigma_b$  и относительное удлинение  $\delta$ , сформировавшиеся в слитках в процессе литья. Деформируемые алюминиевые сплавы также часто обладают низкой технологической пластичностью, но технологические характеристики можно улучшить как при помощи обработки в жидком состоянии (легированием, модифицированием, рафинированием и другими), так и с помощью физических методов воздействия на расплав. Учитывая, что улучшение структуры и свойств после формирования отливки требует высоких энергетических затрат (термическая обработка, обработка давлением), исследования, направленные на повышение технологических характеристик, при обработке расплава физическими методами являются актуальными.

*Цель данной работы* – исследование влияния ЭГИО на характеристики и свойства алюминиевого деформируемого сплава с точки зрения возможности обобщения выводов о воздействии этого вида обработки на сплавы различных систем легирования.

В качестве объекта исследования (как модельный) был выбран деформируемый алюминиевый сплав АК4-1 (ГОСТ 4784 -97), который относится к числу упрочняемых термической обработкой [5]. Причем, сплав данной марки, используемый для изготовления деталей ковкой, обладает худшими механическими свойствами по сравнению с дюралюминием, который имеет более мелкозернистую структуру, но близок ему по составу. Грубая структура интерметаллидных фаз у сплавов данной группы также устраняется более длительными выдержками при температуре закалки, чем отливки из дюралюминия. Таким образом, можно предположить, что, получив мелкозернистую структуру и дисперсные фазы уже в процессе литья, можно сократить затраты на последующую термообработку (уменьшение выдержки при закалке) и высокие свойства в полуфабрикатах (листах, трубах, профилях). Поэтому в работе для выявления роли ЭГИО определяли свойства сплава в литом состоянии, не подвергавшегося термообработке.

В работе использовали экспериментальную установку для ЭГИО расплава, с помощью которой производили обработку алюминиевых сплавов массой до 1 кг.

Температуру расплава в печи сопротивления доводили до 780 °С, затем разливочным ковшиком отбирали часть металла для отливки контрольных образцов. При понижении температуры в ковше в процессе технологической выдержки до 720 °С отливали контрольные образцы в кокиль, подогретый до 180 °С. После этого

## Новые методы и прогрессивные технологии литья

отбирали расплав из печи для обработки при температуре 780 °С, в него погружали волновод и производили ЭГИО. Обработанный металл при температуре 720 °С заливали в такой же кокиль, как и при отборе контрольных образцов. С целью получения репрезентативных данных было выполнено 4 серии экспериментов при одинаковых параметрах ЭГИО.

На полученных в ходе экспериментов образцах проводили сравнение характеристик структуры контрольного и опытного металла методами количественной металлографии.

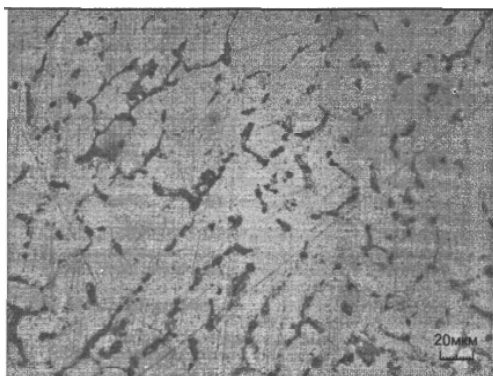
В отливках определяли параметры макро- и микроструктуры и свойства. Для выявления структуры сплава применяли 4 %-ный водный раствор HF. Макротемплеты после травления изучали невооруженным глазом, а также с помощью лупы. Величину макрозерна определяли методом измерения среднего условного диаметра зерна, для анализа параметров микроструктуры использовали линейный метод Розиваля и точечный метод А. А. Глаголева [6]. Структуру полученных образцов исследовали на оптическом микроскопе «Неофот-32». Механические свойства (предел прочности  $\sigma_B$  и относительное удлинение  $\delta$ ) определяли на образцах, вырезанных из литых заготовок в соответствии с ГОСТом 1583-89.

Основными упрочняющими фазами в этом сплаве являются S-фаза ( $Al_2CuMg$ ) и железоникелевая  $FeNiAl_9$ . Однако фаза  $FeNiAl_9$  часто выделяется в грубой форме, что вызывает нежелательное охрупчивание сплава [5]. Поэтому для повышения уровня механических свойств важное значение имеет не только количество, но и дисперсность упрочняющих фаз.

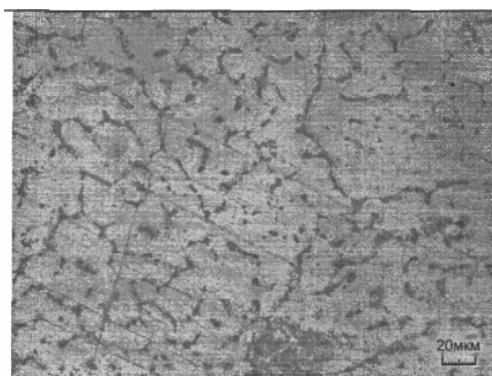
В таблице приведены результаты анализа изменений структуры и свойств сплава АК4-1 после ЭГИО. Здесь наблюдается значительное измельчение макро- и микрозерна литого металла. На рисунке приведены микроструктуры образцов, иллюстрирующие, что суммарный объем избыточных фаз практически не изменяется, однако количество  $Al_2CuMg$  уменьшается, а фазы  $FeNiAl_9$  – возрастает. При этом

### Результаты анализа изменений структуры и свойств сплава АК4-1 после ЭГИО

Обработка	Размер макрозерна, мм <sup>2</sup>	Размер микрозерна, балл	Объем фазы $FeNiAl_9$ , %	Объем фазы $Al_2CuMg$ , %	Свойства	
					$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
Без ЭГИО	1,5	7	7	7	70	2,2
ЭГИО	0,7	9	9	5	120	3,7



а



б

Микроструктура образцов сплава АК4-1: а – исходный металл; б – после ЭГИО

важно отметить измельчение этой фазы и более равномерное ее распределение по объему металла (рисунок, б).

Измельчение зерна, изменение степени дисперсности и распределения охрупчивающих фаз по объему металла благоприятно влияют на свойства металла: прочность возрастает на 55-85 % при одновременном увеличении пластичности на 60-75 %. Такое повышение пластичности должно уменьшить вероятность образования трещин при последующей деформации, а значит, и уменьшить процент брака при изготовлении деталей ковкой, что является предметом дальнейших систематических исследований.

Подводя итоги, можно отметить, что применение ЭГИО расплава приводит к улучшению структуры и свойств деформируемого алюминиевого сплава в литом состоянии, что, в свою очередь, должно привести к уменьшению времени выдержки при закалке. Увеличение же степени дисперсности интерметаллидных фаз приводит к повышению пластичности. Таким образом, можно обобщить, что ЭГИО расплава алюминиевых сплавов различных систем легирования как литейных, так и деформируемых вызывает аналогичные изменения в структуре и свойствах обрабатываемого металла, что открывает перспективы применения ЭГИО расплава для повышения свойств всех групп алюминиевых сплавов.



### Список литературы

1. Федченко Н. А. Повышение качества сплавов на основе алюминия путем использования электрогидроимпульсной обработки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 2001. – 19 с.
2. Грабовый В. М., Синчук А. В., Цуркин В. Н. Механизм влияния электрогидроимпульсной обработки на состояние расплава перед разливкой и кристаллизацию высокоуглеродистых сплавов // Теория и практика металлургии. – 2000. – № 6 (20). – С. 28-31.
3. Д'яченко С. С., Федченко Н. А. Механізм впливу параметрів електрогідроімпульсної обробки розплаву на структурні зміни в металі // Металознавство та обробка металів. – 2005. – № 2. – С. 29-31.
4. Цуркин В. Н., Мельник А. В., Грабовый В. М. // Анализ спектральных характеристик электро-разрядного генератора упругих колебаний. – 2005. – № 2 (401). – С. 106-112.
5. Фринлендер И. Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. – М.: Металлургия, 1970. – 270 с.
6. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1976. – 270 с.

Поступила 19.07.2010

### **Вниманию авторов!**

*В соответствии с требованиями ВАКа все статьи, поступающие в редакции научных журналов, должны обязательно проходить рецензирование, иметь аннотации и ключевые слова на русском, украинском и английском языках. Объем статьи – не более 10 стр., рисунков – не более 5.*

*Статьи в редакции поступают как на бумажном, так и электронном носителе. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов – формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.*