

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 σ_b и относительное удлинение δ , 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.

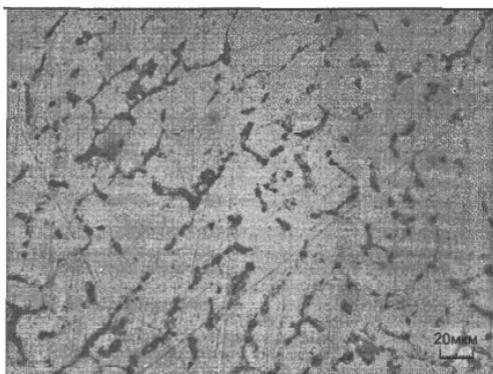
В отливках определяли параметры макро- и микроструктуры и свойства. Для выявления структуры сплава применяли 4 %-ный водный раствор HF. Макротемплеты после травления изучали невооруженным глазом, а также с помощью лупы. Величину макрозерна определяли методом измерения среднего условного диаметра зерна, 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 σ_B и относительное удлинение δ) 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.

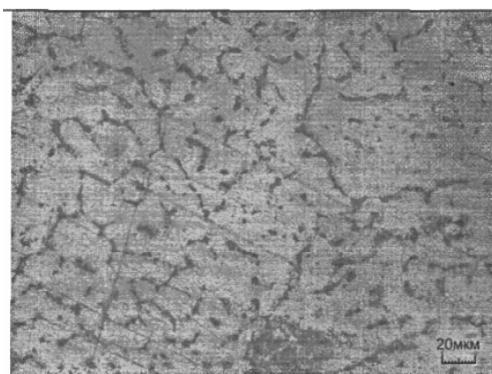
В таблице приведены результаты анализа изменений структуры и свойств сплава АК4-1 после ЭГИО. Здесь наблюдается значительное измельчение макро- и микрозерна литого металла. На рисунке приведены микроструктуры образцов, иллюстрирующие, что суммарный объем избыточных фаз практически не изменяется, однако 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 ²	Размер микрозерна, балл	Объем фазы $FeNiAl_9$, %	Объем фазы Al_2CuMg , %	Свойства	
					σ_B , МПа	δ , %
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.*