



The methods and outfit Angara-P, allowing to determine the contents of hydrogen in liquid aluminium and aluminium alloys in range 0,05–5,0 cm³/100g of melt accurate within + 0,03 - 0,08 cm³/100 g, are developed. AE-method gives possibility to carry out analysis during 1,0–1,5 min.

*В. Б. ВОРОНЦОВ, А. В. ГОРЧИНСКИЙ,
Уральский государственный университет путей сообщений, г. Екатеринбург*

УДК 662.74

АКУСТО-ЭМИССИОННЫЙ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРОДА В ЖИДКОМ АЛЮМИНИИ И ЕГО СПЛАВАХ

Качество отливок во многом определяется присутствием в расплаве нерастворимых примесей, особенно газов, которые, выделяясь при затвердевании слитка, способствуют образованию газовой пористости, поэтому контроль газов в расплаве имеет первостепенное значение. Существующие методы контроля газосодержания не удовлетворяют металлургов из-за сложности и высокой стоимости лабораторного оборудования. Наиболее распространено проведение газового анализа в алюминиевых сплавах методом Гудченко [1], или «первого пузырька». Этот метод имеет недостатки, а именно: субъективность в оценке появления первого пузырька, длительность проведения анализа (плавильщик получает информацию о содержании водорода только через 20 мин после взятия пробы). При проведении анализа проба подвергается вторичному переплаву, что вносит ошибку в измерение и увеличивает время анализа. Поэтому необходима разработка экспресс-метода, исключающего недостатки метода Гудченко.

Наиболее простой путь в решении этой задачи – использование эффекта акустической эмиссии (АЭ), сопровождающего кристаллизацию металлов и сплавов. Авторы работы [2] связывают появление акустических сигналов с объемным сокращением при затвердевании большинства металлов и сплавов. На характер и параметры АЭ большое влияние оказывает присутствие в расплаве примесей и нерастворимых газов, что позволяет установить корреляцию между процессами ликвации и параметрами АЭ. Так как ликвация определяет структуру слитка, то с помощью эффекта АЭ можно прогнозировать качество отливок. Прогнозирование ликвационного брака на этапе подготовки расплава открывает возможности вмешательства в технологический процесс и получения качественных структурно-однородных слитков. Это экономически выгодно, так как позволяет снизить брак литья.

Особенно перспективно использование АЭ для определения ликвационных неоднородностей, связанных с присутствием в расплавах алюминиевых сплавов трудноопределяемых растворенных газов. В алюминиевых сплавах до 90% из присутствующих в них газов составляет H₂, который при отсутствии гидридообразующих элементов не образует соединений и находится в свободном виде. Растворимость водорода при затвердевании алюминия резко падает, что приводит к появлению областей с повышенным содержанием водорода, которые образуют пористость. Появление дефектов в виде пор ведет к динамическим изменениям внутренней структуры и внутренним напряжениям, снятие которых сопровождается появлением сигналов АЭ. Акустический сигнал генерируется в момент усадки в результате сжатия при кристаллизации жидкого металла вокруг поверхности газового пузырька. Сжатие вызывает в твердом теле упругую волну, перемещающуюся в сторону уменьшения давления. Экспериментально это подтверждено в работе [3].

Авторы ставили задачу на примере кристаллизации промышленных алюминиевых сплавов показать зависимость интенсивности сигналов АЭ от насыщения расплава водородом. Кинетические кривые изменения интегрального счета импульсов АЭ за период кристаллизации, полученные автором при подготовке металла на воздухе (кривые 1, 2) и вакуумировании (кривые 3, 4), приведены в работе [4] и на рис. 1. Из рисунка видно, что интенсивность сигналов АЭ значительно снижается для обоих сплавов после вакуумирования расплава перед разливкой. Газовый анализ твердых проб обоих сплавов, подготовленных на воздухе и подвергнутых дегазации, проведенный по методу вакуумной экстракции, количественно подтвердил уменьшение содержания водорода в вакуумированных пробах. Микрофотографии продольных шлифов образцов также ука-

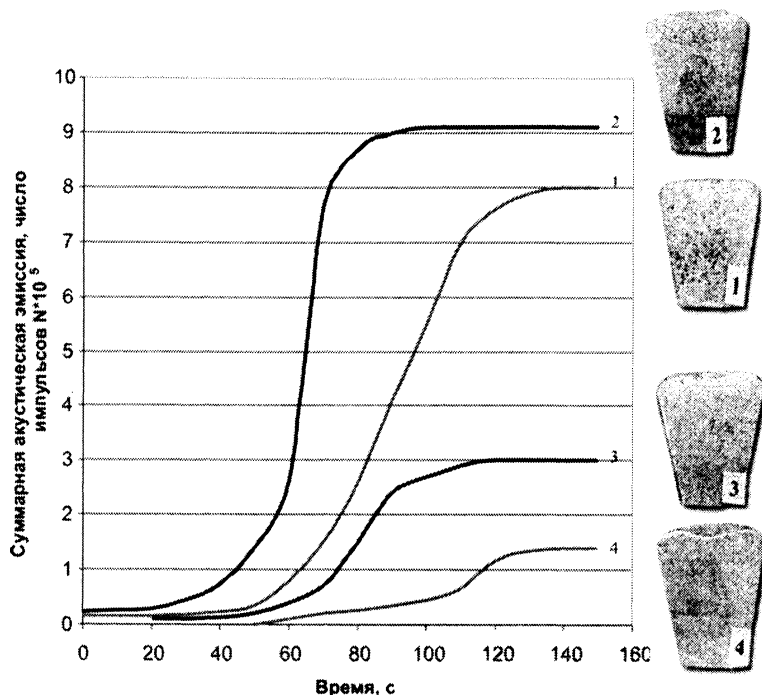


Рис. 1. Зависимость суммарной АЭ от времени затвердевания сплавов АВ и АМГ6

зывают на корреляцию суммарной эмиссии за время кристаллизации расплава с классом пористости.

Для определения частотного диапазона АЭ сигналов, генерируемых в процессе затвердевания А1 и его сплавов, был использован спектроанализатор отечественного производства, разработанный Хабаровским институтом. Результаты анализа спектров приведены на рис. 2. Из рисунка видно, что частотный диапазон сигналов находится в интервале 20–200 кГц.

Установление принципиальной зависимости АЭ от газонасыщенности расплава и экспериментально определенный диапазон частот позволил разработать методику определения содержания водорода в расплавах алюминиевых сплавов акусто-эмиссионным методом. С этой целью на серии литейных образцов сплавов с разным содержанием водорода на установке [4] проведено определение интегрального счета импульсов АЭ за время затвердевания пробы. В полученных твердых пробах рассчитано содержание водорода методом масс-спектрометрии с их полным расплавлением. На основании экспериментальных данных получены корреляционные зависимости суммарной АЭ за период кристаллизации от содержания водорода в пробах (рис. 3), каждая точка на графиках соответствует результатам анализа пяти проб, взятых из одной ванны.

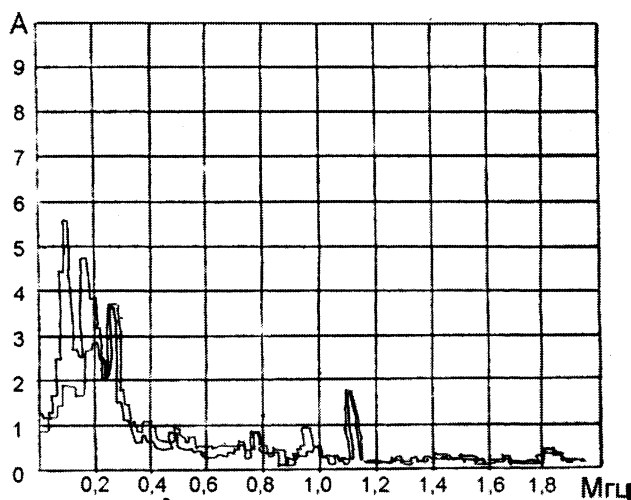


Рис. 2. Амплитудно-частотный анализ спектра АЭ при кристаллизации А1

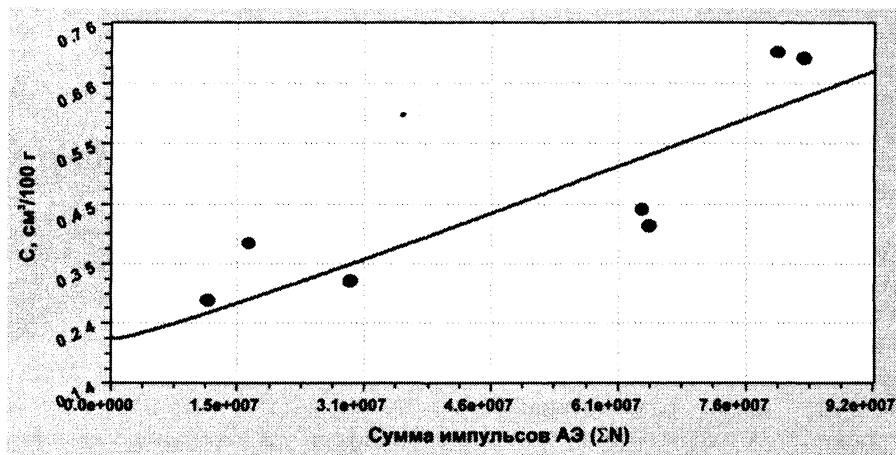


Рис. 3. Зависимость содержания водорода от суммы импульсов АЭ за время кристаллизации

Данная методика зарегистрирована Комитетом РФ по патентам и товарным знакам (Роспатент) [5].

На основании полученных результатов разработаны АЭ установки «Ангара-I» и «Ангара-II», в компактном виде включающие в себя все элементы экспериментальной установки [4]. При проектировании установки «Ангара-I» за основную измеряемую физическую характеристику эмиссии выбрана энергия генерируемых импульсов АЭ за время затвердевания пробы (рис. 4, 5). Полная энергия сигналов АЭ отражает косвенно ее источник – газоусадочную пористость слитка (объем, занимаемый порами). Чисто усадочную пористость при затвердевании не наблюдали из-за быстрого охлаждения пробы (см. микрошлифы, рис. 1).

В работе [6] показано, что между объемом, занимаемым порами, и содержанием водорода в отливках существует прямая зависимость, поэтому появляется реальная возможность связать выделяющуюся акустическую энергию АЭ с содержанием водорода в пробе. Были получены корреляционные зависимости интегральной характеристики энергии сигналов АЭ за период кристаллизации от содержания водорода в пробе. Полученная зависимость введена в виде алгоритма в программу перевода показателей эмиссии в содержание водорода. Это было реализовано на установке «Ангара-I», которая освоена на большинстве предприятий по получению первичного алюминия.

Возможности АЭ-установки «Ангара-I» расширены за счет автоматизации процесса измерения и обеспечения микропроцессором и программными средствами. В результате была разработана установка «Ангара-II» (рис. 6), состоящая из трех отдельных функциональных узлов.

Сплав АК9 С=0,96 см³/100 г N=142357872

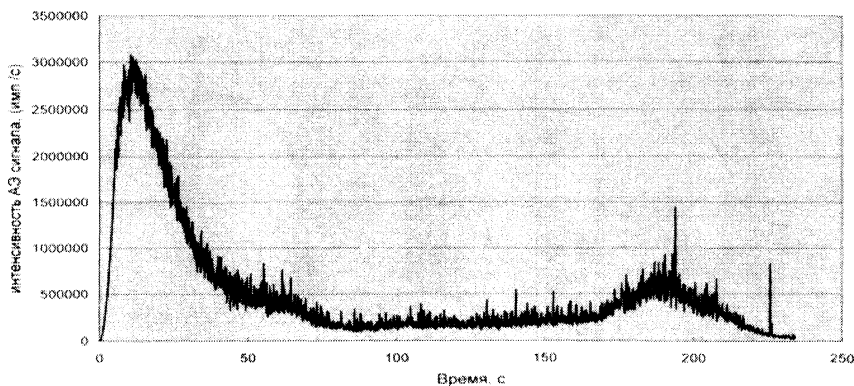


Рис. 4. Огибающая амплитуды АЭ сигнала за период кристаллизации сплава АК9

Al C=0,15 см³/100 г N=83546606

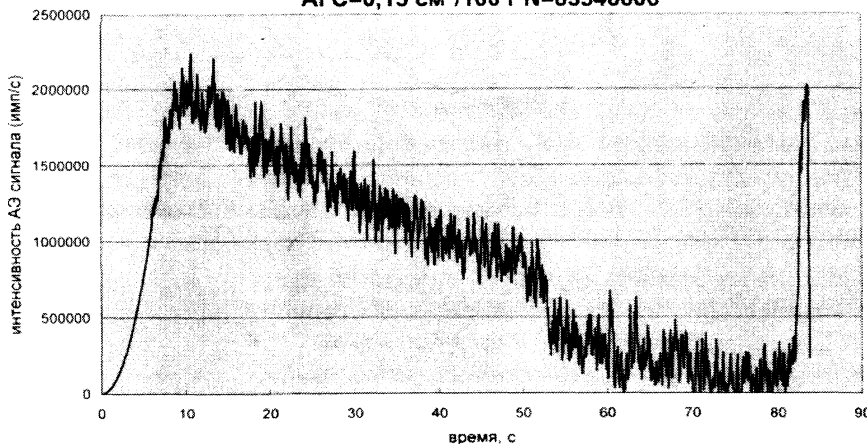


Рис. 5. Огибающая амплитуды АЭ сигнала за период кристаллизации Al

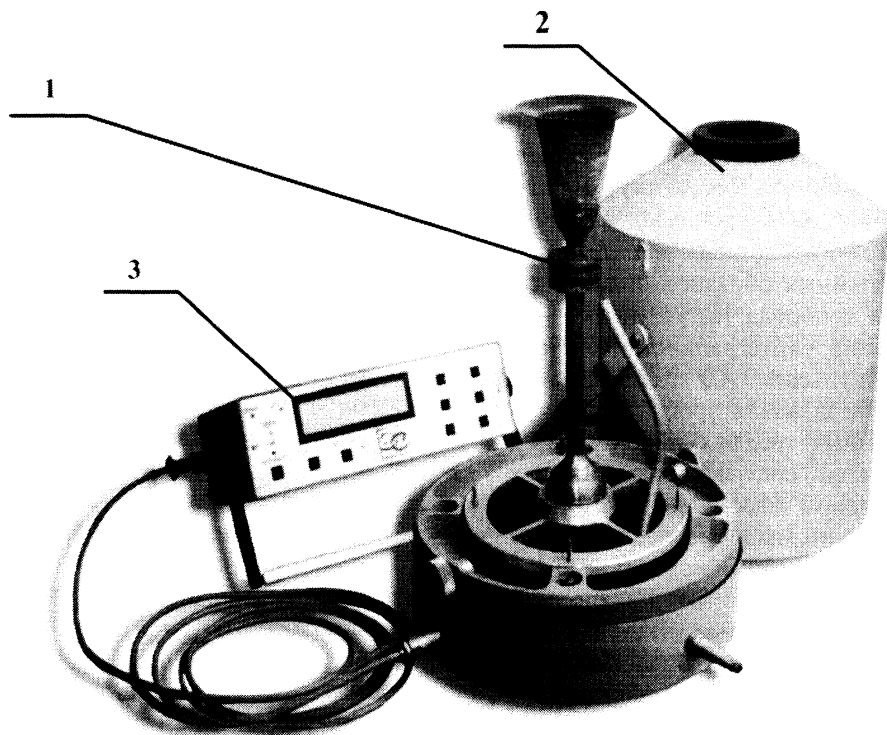


Рис. 6. Анализатор газа в расплавах алюминия и алюминиевых сплавах Ангара-II: 1 – кристаллизационная ячейка с основанием; 2 – помехозащитный экран, образующие вместе генерирующий блок; 3 – прибор-регистратор АЭР-2

Технические характеристики прибора приведены ниже.

Габаритные размеры, мм:	
длина	100
ширина	200
высота	245
Масса прибора, кг	2,5
Габариты измерительной ячейки и акустоэкрана, мм:	
длина	265
высота	320
Масса измерительной ячейки и акустоэкрана, кг	4
Электропитание, В:	
от сети переменного тока	220
автономное от аккумулятора	12

Кристаллизационная ячейка выполняет роль изложницы, в которую заливают 80 см³ анализируемой пробы. Помехозащитный экран предназначен для защиты измерительного тракта от воздействия акустических и электрических полей. Регистратор АЭР-2 вместе с предусилителем, установленным в основании помехозащитного экрана, служат для регистрации, усиления и обработки полученных сигналов АЭ. При заливке порции расплава в ячейку происходит самозапуск прибора на проведение измерений. Прибор АЭР-2 проводит подсчет интегральной эмиссии за время затвердевания пробы, расчет и отображение на дисплее содержания водорода в расплаве в см³/100 г расплава. Программные сервисные средства позволяют перенастраивать прибор для проведения газового анализа требуемого сплава нажатием одной кнопки на передней панели.

Важная задача — обеспечение экспрессности газового анализа. Хронометраж показал, что от момента заполнения разливочной ложки металлом до получения результатов анализа проходит 60–100 с. Такая скорость анализа на сегодня является непревзойденной. Установка Ангара-II проста в

обслуживании и проведении измерений. Для работы на установке не требуется специальной подготовки персонала. Методика проведения анализа исключает операции, связанные с подготовкой пробы, что позволяет проводить анализ в цеховых условиях вблизи литейных агрегатов. Автоматизация получения результатов исключает субъективные ошибки, присущие методу «первого пузырька».

Анализатор Ангара-II определяет содержание водорода в жидких алюминиевых сплавах в диапазоне 0,05–5 см³/100 г расплава с точностью ±0,03–0,08 см³/100 г.

Использование встроенного аккумулятора позволяет проводить измерения в автономном режиме на любом участке цеха. Высокая технологичность АЭ-метода и приемлемая точность анализа позволяют рекомендовать установку Ангара-II для предприятий металлургии и машиностроения, использующих алюминиевые отливки. По запросам предприятий УрГУПС изготовит установки Ангара-II в необходимом количестве, проведет аттестацию для анализа требуемых сплавов.

Литература

1. Чернега Д.Ф., Белик О.И. Водород в литейных алюминиевых сплавах. Киев: Техника, 1972.
2. Borchers H., Kaiser J. Akustische Effekte bei Phasenübergängen im System Blei-Zinn. // Z. Metallkunde. 1958. Vol. 49. P. 95–101.
3. Feuer U., Wunderling R. Solidification and cast Metals Proc. // Int. Conf. Solidification. Sheffield, 1977, London, 1979. P. 340–344.
4. Воронцов В.Б. Использование эффекта акустической эмиссии при кристаллизации для определения содержания водорода в расплавах металлов и сплавов // Литье и металлургия. 2002. №4. С. 29–31.
5. Пат. РФ 2052810: Способ определения содержания газов в жидких металлах.
6. Шевцов И.В., Колачев Б.А. О рафинировании алюминиевых расплавов от водорода и окиси алюминия // Цветные металлы. 1973. Т.12. С. 44–47.