

Технология, оборудование, САПР и экология литейного производства

It is shown that the method of acousto-emission is used for forecasting of the aluminium alloys casting porosity class before pouring by intensity of acoustic emission signals.

В. Б. ВОРОНЦОВ, Уральский государственный университет путей сообщений,
К. В. НИКИТИН, Самарский государственный технический университет

УДК 620.179.17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ПОРИСТОСТИ ЛИТЬЯ МЕТОДОМ АКУСТО-ЭМИССИИ

Газовая пористость является одной из основных причин литейного брака при получении слитков, поэтому ее снижение – важная технологическая задача. Источником пористости служат нерастворимые в расплаве примеси. При литье алюминия и его сплавов такой примесью является водород, содержание которого в расплаве достигает 95% от всех присутствующих газов. При затвердевании алюминиевых сплавов резко снижается растворимость водорода, который остается в свободном состоянии и образует поры, избавиться от них очень сложно, поэтому методика разрабатывалась применительно к определению класса пористости литья из алюминиевых сплавов.

Контроль содержания газов в расплаве позволяет следить за качеством металла в процессе плавки и технологическими методами добиваться снижения концентрации газов до уровня, когда поры не образуются или их объем становится незначителен и не отражается на качестве литья.

В [1] сообщалось об анализаторе газов в алюминиевых сплавах «Ангара-2», который позволяет оперативно определять содержание водорода в жидкой ванне и, таким образом, проследить за содержанием водорода на всех этапах подготовки расплава. В машиностроении прежде всего важно отсутствие дефектов в виде пор в слитке или литом изделии независимо от источника их происхождения.

Несмотря на необходимость, в настоящее время нет экспрессного метода прогнозирования класса пористости литья на стадии подготовки расплава.

В связи с этим перед нами стояли задачи:

1. Разработать методику, которая бы позволяла прогнозировать класс пористости литья по затвердевшей пробе, взятой из жидкой ванны в цеховых условиях за 1–2 мин.

2. Создать установку, которая оперативно решает эту задачу программными средствами.

Мы решили воспользоваться возможностями установки «Ангара-2», придав ей дополнительную функцию определителя пористости литья, принимая во внимание, что содержание водорода в расплаве и пористость между собой тесно связаны. Первое приводит к появлению второго.

Поставленная задача решалась, основываясь на результатах анализа сигналов акустической эмиссии (АЭ), сопровождающей кристаллизацию металлов и сплавов.

Акустической эмиссией называется излучение упругих волн звукового и ультразвукового диапазона при фазовых превращениях кристаллических веществ [2]. Несмотря на то что эффект (АЭ) открыт в 1953 г., до настоящего времени нет его достойного применения.

Как было отмечено выше, в алюминиевых сплавах поры являются областями повышенного содержания водорода. Появление дефектов в виде пор приводит к динамическим изменениям структуры металла и возникновению локальных напряжений, снятие которых сопровождается сигналами АЭ. Акустический сигнал генерируется в момент усадки в результате сжатия металла вокруг газового пузырька.

Предпосылкой для реализации поставленной задачи явились результаты исследований акустической эмиссии при затвердевании промышленных алюминиевых сплавов АВ и АМг6 [1]. На рис. 1 приведены данные по измерению суммы сигналов АЭ для сплавов АМг6 и АВ^{«В»} при кристаллизации в открытом тигле и после дегазации расплава до $2 \cdot 10^{-2}$ Тор.

Для каждой пробы даны результаты металлографических исследований продольных шлифов, откуда видна связь между площадью, занимаемой

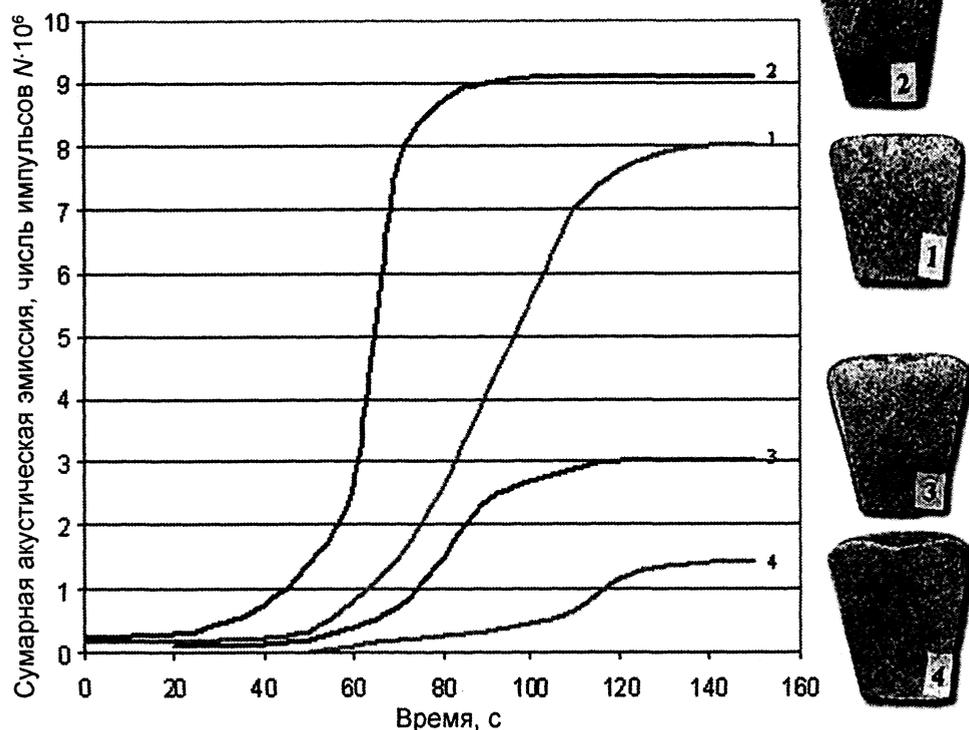


Рис. 1. Суммарная АЭ за время затвердевания сплавов АМгб (кривые 2, 3) и АВ^{«В»} (кривые 1, 4), измеренная при кристаллизации на воздухе и после дегазации расплава. Содержание H₂ в пробах: 1 – 0,31 см³/100 г; 2 – 0,54; 3 – 0,22; 4 – 0,1 см³/100 г

порами на шлифе, и суммарной эмиссией за время затвердевания. Дегазация сплавов АВ^{«В»} и АМгб в жидком состоянии привела к уменьшению содержания водорода в твердой пробе и интегрального показателя эмиссии.

Основываясь на полученных результатах, проведена работа с целью установления корреляционной зависимости между интегральным показателем эмиссии за время кристаллизации и баллом пористости затвердевшей пробы.

Исследования проведены на сплавах АЛ25 и АК9, выбранных в качестве модельных, но так как физическая природа появления сигналов АЭ не связана с видом сплава, полученные результаты можно использовать при анализе пористости других литейных сплавов.

Для определения интегральных показателей эмиссии применяли АЭ-регистратор АЭР-2, который входит в состав установки «Ангара-2» (рис. 2) [2]. Анализ пористости проб литейных сплавов на основе алюминия проводили по ГОСТ 1583-93.

Эксперимент проводили в два этапа.

1. Расплав заливали в изложницу (коническую часть кристаллизационной ячейки 1) и определяли сумму сигналов АЭ за время затвердевания пробы.

2. Из полученных проб приготавливали продольные шлифы для дальнейших исследований макроструктуры.

Для анализа пористости был использован программно-аппаратный комплекс «SIAM», снабженный пакетом прикладных программ для анализа и обработки изображений на базе анализатора «SIAMS Fotolab». Пакет программ был доработан на кафедре литья СамГТУ для определения балла пористости по шлифам литейных сплавов [3].

Специальный сканирующий модуль удалял помехи, возникающие на поверхности шлифов при подготовке образцов, а также позволял распознавать природу пор (газовых и усадочных) по фактору формы.

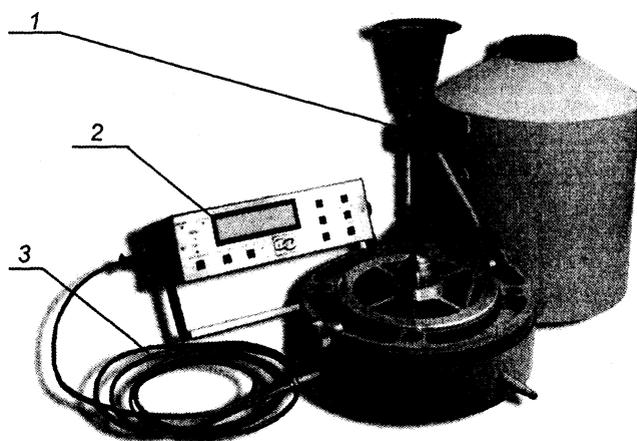
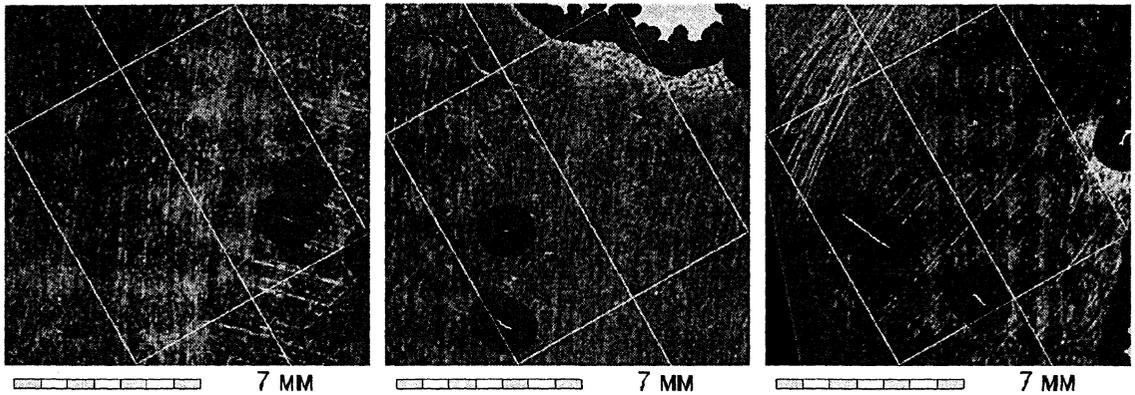


Рис. 2. Установка «Ангара-2»: 1 – кристаллизационный узел; 2 – акусто-эмиссионный регистратор АЭР-2; 3 – сигнальный кабель



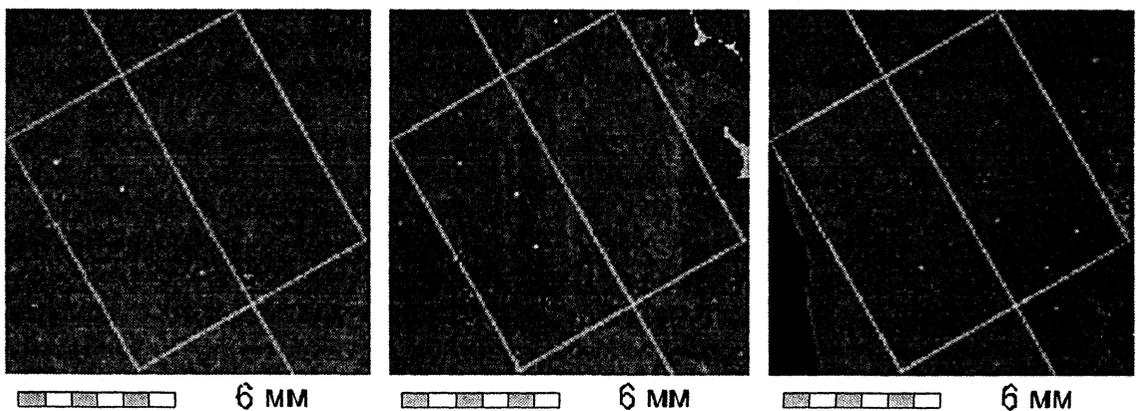
Результаты анализа

Число темплетов	1
Общая площадь темплетов, см ²	25,57
Анализируемая площадь темплетов, см ²	3,00
Число газовых пор	6
Число газовых пор на см ²	2,00
Минимальное значение балла пористости	2,0
Максимальное значение балла пористости	2,0
Среднее значение балла пористости	2,0

Распределение размеров газовых пор по группам

Размер, мм	Число пор	Число пор на см ²
0,1–0,1	4	1,3
0,1–0,2	2	0,7
0,2–0,3	0	0,0
0,3–0,5	0	0,0
0,5–1,0	0	0,0

Рис. 3. Анализ пористости в сплаве АК9 (плавка № 3) на основе алюминия (ГОСТ 1583-93). Суммарная эмиссия за время затвердевания $N = 16,7 \cdot 10^7$



Результаты анализа

Число темплетов	1
Общая площадь темплетов, см ²	28,45
Анализируемая площадь темплетов, см ²	3,00
Число газовых пор	11
Число газовых пор на см ²	3,67
Минимальное значение балла пористости	3,0
Максимальное значение балла пористости	3,0
Среднее значение балла пористости	3,0

Распределение размеров газовых пор по группам

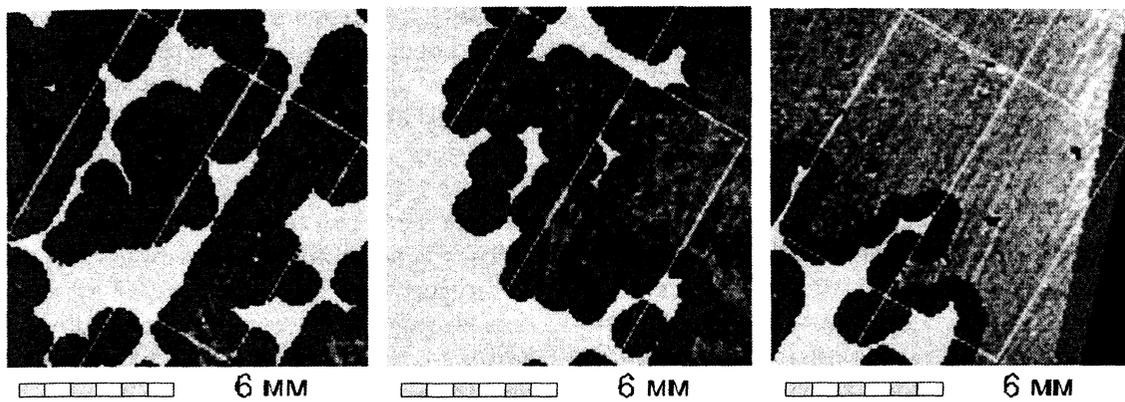
Размер, мм	Число пор	Число пор на см ²
0,1–0,1	0	0,0
0,1–0,2	0	0,0
0,2–0,3	7	2,3
0,3–0,5	4	1,3
0,5–1,0	0	0,0

Рис. 4. Анализ пористости в сплаве АЛ25 (плавка № 2553) на основе алюминия (ГОСТ 1583-93). Суммарная эмиссия за время затвердевания $N = 30 \cdot 10^7$

На рис. 3–5 показаны макроструктуры трех шлифов сплавов АК9 и АЛ25 и приведены результаты анализа балла пористости и распределения размеров газовых пор по группам.

Из анализа полученных результатов следует, что чем выше балл пористости для проб, тем больше интегральный показатель эмиссии (сумма импульсов), сопровождающих их затвердевание.

На рис. 6 показана зависимость интегрально-го показателя эмиссии от пористости, оцененной в баллах по 5-балльной шкале. График построен по результатам анализа 20 проб для сплавов АК9 и АЛ25. Из рисунка видно, что пробам определенного балла пористости соответствует интервал реализации суммарных показателей эмиссии.



Результаты анализа

Число темплетов	1
Общая площадь темплетов, см ²	29,79
Анализируемая площадь темплетов, см ²	3,00
Число газовых пор	9
Число газовых пор на см ²	3,00
Минимальное значение балла пористости	4,0
Максимальное значение балла пористости	4,0
Среднее значение балла пористости	4,0

Распределение размеров газовых пор по группам

Размер, мм	Число пор	Число пор на см ²
0,1–0,1	0	0,0
0,1–0,2	0	0,0
0,2–0,3	4	1,3
0,3–0,5	4	1,3
0,5–1,0	1	0,3

Рис. 5. Анализ пористости в сплаве АК9 (плавка № 910312) на основе алюминия (ГОСТ 1583-93). Суммарная эмиссия за время затвердевания $N = 64 \cdot 10^7$

На основании экспериментальных данных (рис. 6, таблица) установлены диапазоны суммарных показателей эмиссии, отвечающих соответствующему баллу пористости.

Количественные показатели эмиссии и соответствующий ее диапазонам балл пористости вводятся в программу анализа технологических параметров установки «Ангара-2» и потребитель получает данные по концентрации водорода в расплаве в физических единицах см³/100 г расплава и прогнозируемый балл пористости литья.

Установка «Ангара-2» (см. рис. 2) состоит из двух отдельных блоков – кристаллизационного узла 1 и акусто-эмиссионного регистратора АЭР-2 2. При работе узлы соединяются друг с другом сигнальным кабелем 3. Кристаллизационный блок, в свою очередь, состоит из кристаллизационной ячейки и акустоэкрана. Кристаллизационная ячейка с датчиком АЭ являются основными элементами установки, так как они передают сигналы АЭ от объекта к анализирующему устройству прибора АЭР-2. Акустоэкрэн служит для защиты измерительного тракта от электрических и акустических помех в месте измерения.

Жидкая проба заливается через отверстие акустоэкрана в ячейку 1. Упругие волны акустической эмиссии, сопровождающие процесс кристаллизации, пройдя по ножке ячейки, достигают датчика, расположенного в холодном торце кристаллизационной ячейки, вызывая в нем появле-

ние ЭДС – электрического сигнала. Сигнал АЭ поступает в предварительный усилитель 2, который расположен в основании кристаллизационного узла и передается по сигнальному кабелю 3 на АЭР-2. Регистратор АЭР-2 подсчитывает сумму сигналов акустической эмиссии за время кристаллизации и, используя программные средства, переводит их в величину содержания водорода и данные прогнозируемого балла пористости.

По окончании процесса кристаллизации на цифровом индикаторе АЭР-2 высвечиваются об-

Интервал суммарного показателя эмиссии N	Балл пористости
16–20·10 ⁷	2
20–53·10 ⁷	3
53–84·10 ⁷	4

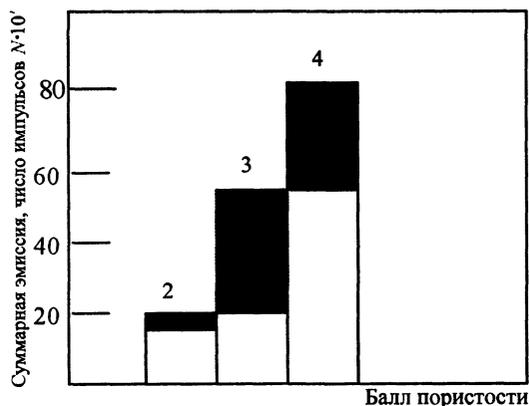


Рис. 6. Зависимость акустической эмиссии от балла пористости исследованных образцов

щее время затвердевания пробы в секундах, начиная от момента физического пуска прибора, накопленная сумма импульсов за время кристаллизации, содержание водорода в $\text{см}^3/100$ г расплава и прогнозируемый балл пористости литья.

Оценка возможностей установки

Определенный ранее алгоритм связи концентрации водорода в пробе с суммой импульсов АЭ за время кристаллизации вводили в ОЗУ прибора АЭР-2. Так как объем пор находится в прямой зависимости от концентрации растворенного водорода, автоматически определяется класс прогнозируемой пористости литья. Предварительно на основании анализа продольных шлифов проб измеряли интегральный объем, занимаемый порами, и суммарную эмиссию за время затвердевания. По результатам анализа определяли алгоритм связи между ними, который вводили в ОЗУ регистратора АЭР-2.

АЭР-2 может использоваться как для измерения технологических параметров, так и для научных исследований. В соответствии с этим программное обеспечение имеет два режима работы:

I – для измерения технологических параметров: расчет концентрации водорода в $\text{см}^3/100$ г расплава и определение балла пористости литья;

II – для решения исследовательских задач: запись интенсивности сигналов АЭ за время кристаллизации в ОЗУ прибора и получение зависимости амплитуды сигналов АЭ от времени затвердевания пробы.

Установка «Ангара-2» позволяет проводить анализ содержания водорода в расплавах Al и алюминиевых сплавов в диапазонах: для Al – $0,05\text{--}0,5$ $\text{см}^3/100$ г с точностью $\pm 0,02\text{--}0,03$ $\text{см}^3/100$ г, для алюминиевых сплавов – $0,1\text{--}0,5$ $\text{см}^3/100$ г с точностью $\pm 0,04\text{--}0,07$ $\text{см}^3/100$ г. Объем взятой пробы расплава – 80 см^3 , время анализа – $1,5\text{--}3$ мин.

Литература

1. Воронцов В. Б. Акусто-эмиссионный анализ содержания водорода в расплавах алюминия // *Металлургия машиностроения*. 2002. № 5. С. 5–7.
2. АЭ-установка «Ангара-2» для определения содержания водорода в алюминиевых литейных сплавах / В. Б. Воронцов, А. П. Горчинский, А. П. Янченко, М. Г. Ардашев // *Дефектоскопия*. 2007. № 1. С. 50–55.
3. Программно-аппаратный комплекс для определения балла пористости в чушковых алюминиевых сплавах на базе анализатора SIAMS700 / В. И. Никитин, К. В. Никитин, К. В. Яковлев и др. // *Литейщик России*. 2007. № 2. С. 13–16.