

УДК 004.415.25

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА ЗЕРНА АЛЮМИНИЯ

А.В. Бочкарев, П.Ю. Зобнин, Е.Е. Ярославкина

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Аннотация. Рассматривается методика получения информативных данных из сигнала акустической эмиссии, измеряемого во время кристаллизации деформируемых сплавов алюминия. Описывается необходимость внедрения данного метода на предприятиях, актуальность проблемы отсутствия оперативного контроля размера зерна и механических свойств заготовок из алюминиевых деформируемых сплавов. Выявляются наиболее значимые алгоритмы анализа сигналов акустической эмиссии, производится выбор необходимых для реализации. Формируется блок-схема требуемых алгоритмов, приводится описание отдельных блоков. Указываются необходимые поправки для возможности реализации на аналого-цифровом преобразователе со встроенным цифровым сигнальным процессором сформированных алгоритмов в виде программы. Приводится пример тестирования полученного программного обеспечения по обработке случайного сигнала.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, деформируемые сплавы алюминия, столбы, аналого-цифровой преобразователь, цифровой сигнальный процессор, число событий.

Одна из важных отраслей металлургического предприятия – производство заготовок из деформируемых алюминиевых сплавов, широко используемых для создания профилей различной формы под давлением [1]. Конечным результатом обработки сырья являются цилиндрические столбы высотой в несколько метров и диаметром порядка 150 мм.

В общем виде создание столба состоит из трех этапов – плавка алюминиевой чушки, литье столба и гомогенизация полученной заготовки. Столбы изготавливают с помощью литейного стола, как это показано на рис. 1.

Из печи 1 расплавленный алюминий 2 с помощью фильтра 3 подается на литейную чашу 4, представляющую собой резервуар с отверстиями в местах наличия желобов 5. Последние служат для распределения жидкого алюминия и подачи его в отверстия кристаллизатора 6, который используется для равномерного охлаждения расплава. По завершении операции формирования столбов весь литейный стол, состоящий из кристаллизатора и литейной чаши с желобками, поднимается посредством крюков 7, чтобы достать готовые столбы 8 [1].

Таким образом, процесс формирования партии алюминиевых заготовок протекает непрерывно, верхняя часть алюминия в кристаллизаторе находится в жидком агрегатном состоянии, тогда как нижняя часть уже кристаллизовалась, между этими зонами существует фронт кристаллизации [2].

Андрей Владимирович Бочкарев, магистрант.

Павел Юрьевич Зобнин, магистрант.

Екатерина Евгеньевна Ярославкина (к.т.н.), заведующая кафедрой «Информационно-измерительная техника».

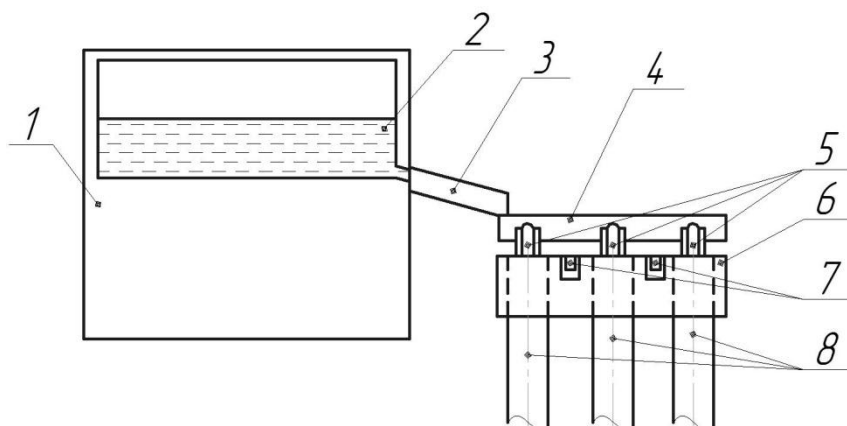


Рис. 1. Схема печи и литейного стола для выплавки алюминиевых столбов:
 1 – печь; 2 – жидкий металл; 3 – фильтр; 4 – литейная чаша; 5 – желоба; 6 – кристаллизатор;
 7 – крюки; 8 – алюминиевые столбы

Полученные столбы проходят гомогенизацию в течение суток для устранения микронеоднородностей и снятия возникших напряжений. Готовая продукция проходит тестирование относительно заданных стандартов – измеряются химический состав и размер зерна. Оба данных параметра определяют в дальнейшем механические свойства изготовленных из полученных столбов изделий, и в случае несоответствия полученных данных требуемым значениям вся партия отправляется на переплавку.

Химический состав чаще всего измеряют у отдельного небольшого образца путем отбора пробы непосредственно из печи [3]. Это позволяет избежать переплавки заготовок и дает возможность внести коррективы в состав еще до кристаллизации.

Для измерения же размера зерна необходимо в партии выбрать гомогенизированный столб и вырезать из него часть небольшой толщины, провести шлифовку поверхности основания, протравить и тем или иным образом измерить средний по сечению размер зерна [2]. Процедура занимает порядка нескольких часов работы. Дальнейшая обработка заготовок не осуществляется без получения сведений о размере зерна.

Описанный способ контроля размера зерна имеет явный недостаток: измерение после кристаллизации не позволяет вносить коррективы в расплав, то есть вся партия при несоответствии требованиям идет на переплавку, вызывая дополнительные расходы. Также сам процесс измерения размера зерна является сравнительно затратным и сопряжен с простым предприятием.

Кроме размера зерна при контроле на пригодность использования данной партии для изготовления продукции также проводят и испытания по получению механических свойств заготовок. Эти испытания могут проводиться от 1 до 5 дней, и в случае негативных результатов вся партия так же, как и при несоответствии размера зерна, отправляется на переплавку. Поскольку простой длиной даже в сутки оказывается недопустимым для металлургических предприятий, партия при получении удовлетворительных результатов по другим параметрам

отправляется на следующий этап цикла производства, без ожидания непосредственно результатов тестирования механических свойств.

Таким образом, механические свойства являются потенциально самым необходимым для экспресс-контроля параметр: при его несоответствии убытки представляют собой затраты не только на переплавку, но и на оплату рабочего времени, а также энергоресурсы, участвующие в последующей обработке заготовок.

Для устранения данных недостатков в рамках междисциплинарной проектной команды СамГТУ «Акустико-эмиссионная установка (акустико-эмиссионный аналитический комплекс) для прогнозирования в процессе литья размеров макро- и микрочастиц в алюминиевых сплавах» ведутся работы по созданию установки определения размера зерна и его механических свойств до наступления кристаллизации всего столба [5]. Данный комплекс предназначен для восприятия и обработки сигналов акустической эмиссии [6]. Они измеряются с момента начала процесса отливки столбов. При несоответствии сигнала заданным параметрам в технологию литья вносятся коррективы, в результате чего предприятие может избежать потерь на обработку бракованной продукции.

Обзор применяемых на сегодняшний день методов анализа сигнала акустической эмиссии показал, что наиболее значимыми (в порядке убывания распространенности) являются: суммарное число событий, число событий в единицу времени, плотность энергии, эволюция спектра, эволюция вейвлет-коэффициентов, дисперсионные кривые [7].

Получение данных и вычислительные операции выполняются в измерительном преобразователе напряжений *L-Card E-502-P-EU-D* (далее *E502*). Он представляет собой систему сбора данных с интегрированным быстродействующим аналого-цифровым преобразователем (АЦП) последовательного приближения (максимальная частота преобразования 2 МГц) [8]. Кроме АЦП одним из важнейших блоков преобразователя является встроенный цифровой сигнальный процессор (далее ЦСП) [9]. В качестве микросхемы АЦП используется *AD7622* последовательного приближения, а в качестве ЦСП – *Blackfin BF523*. Последний позволяет реализовать различные алгоритмы непосредственно внутри преобразователя, оставляя за компьютером или иным подключенным к нему ЭВМ лишь задачи отображения, управления и принятия решений.

Для обработки данных акустической эмиссии было принято на текущем этапе внедрить два алгоритма подсчета событий как импульсов, превышающих некоторый порог: за все время и за отдельные промежутки времени. Выбор был сделан исходя из анализа первых опытов: амплитуда отдельных импульсов соответствующих событий отличалась сравнительно слабо, чтобы считать ее информативным параметром. При отсутствии необходимости учитывать амплитуду наиболее емкими являются алгоритмы подсчета числа событий. К тому же по числу событий также измеряется смежный с механическими свойствами параметр пористости алюминия, описанный в [10]. Разработанные алгоритмы выявления представлены на рис. 2.

Данный алгоритм учитывает особенности работы *E502* – преобразователь позволяет получать те или иные данные только для каких-либо каналов, поэтому результаты счета событий подменяют собой данные с двух каналов АЦП. Здесь $d1[i]$, $d2[i]$ и $d3[i]$ – i -е элементы массивов данных, переданных с АЦП на ЦСП и затем на ЭВМ от последнего; $size$ – размер массивов данных (для всех каналов идентичен).

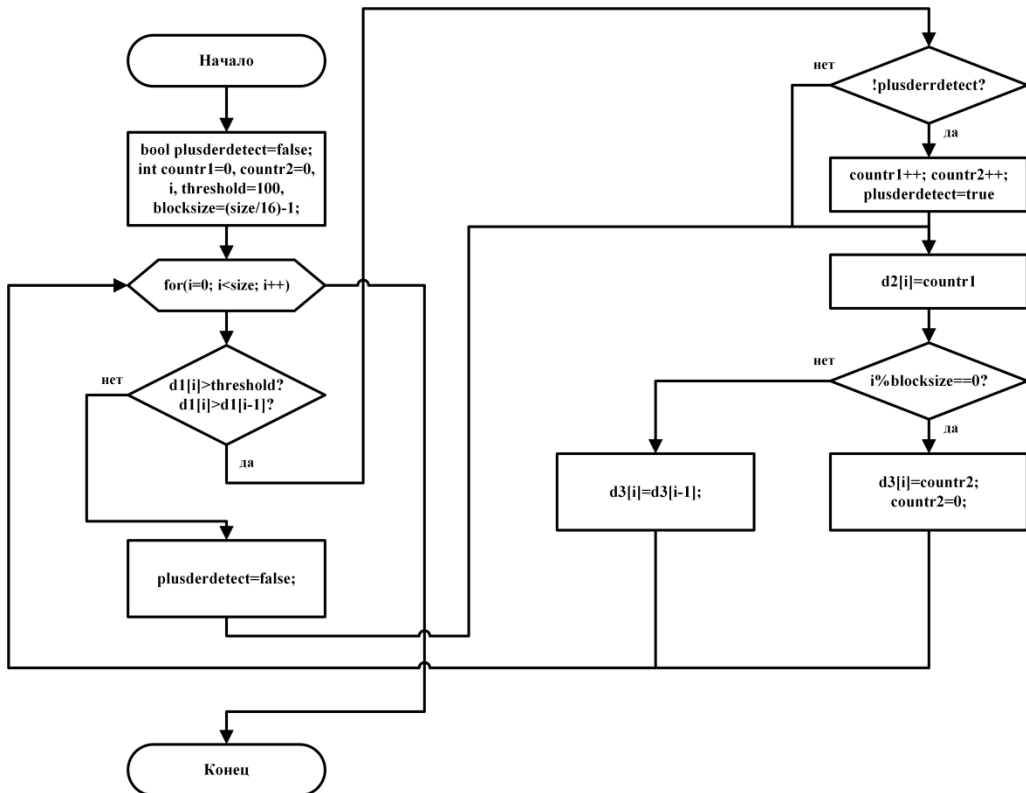


Рис. 2. Блок-схема подсчета числа событий

Описать работу алгоритма можно следующим образом. Перед началом преобразований объявляются целочисленные переменные: два счетчика событий $countr1=0$ и $countr2=0$, итератор i , пороговое значение $threshold=100$, а также размер блока для подсчета числа событий в единицу времени $blocksize=(size/16)-1$ (имеется в виду, что число событий подсчитывается для каждой $1/16$ части передаваемого на ЭВМ массива). Также объявляется и инициализируется логическая переменная для определения положительного знака производной (или роста кривой) $plusderdetect=false$. Далее все операции выполняются в цикле: при выявлении превышения текущим значением элемента массива $d1[i]$ порогового значения $threshold$ (в алгоритме это произвольно взятое число 100), что говорит о выбросе, а значит, и наличии события, производится сравнение текущего элемента массива $d1[i]$ с предыдущим значением $d1[i-1]$ для выявления роста кривой. Если какое-либо из условий не выполняется ($d1[i]$ не превышает $threshold$ или $d1[i-1]$), то выполняется операция $plusderdetect=false$, что необходимо для исключения повторной обработки одного и того же импульса. Если же условия выполняются, то происходит сравнение $!plusderdetect$, то есть определяется, было ли уже зафиксировано рассматриваемое событие ранее. Если условие удовлетворяется, то выполняется инкремент счетчиков событий $countr1$ и $countr2$, а также присваивается значение $plusderdetect=true$ (дабы исключить обработку текущего события второй раз), если не удовлетворяется – то данные операции пропускаются и алгоритм переходит к следующему шагу. Также к этому шагу алгоритм приходит после озвученной ранее операции

plusderdetect=false. На текущем этапе выполняется присвоение значения $d2[i]=count1$, то есть в i -е значение массива, соответствующего второму каналу прибора, записывается суммарное число событий за все время. После этого производится сравнение результата выполнения операции $i \% blocksize$ с нулем, что дает возможность выполнить последующие операции только во время обработки каждого $blocksize$ -го элемента $d1[]$. В данном случае такой подход позволяет выполнять операции 16 раз за один переданный массив. При кратности текущего значения итератора i величине $blocksize$ текущему значению массива $d3[i]$ присваивается значение $count2$, после чего $count2$ обнуляется. Обнуление необходимо, поскольку соответствующий третьему каналу массив $d3[]$ должен содержать значения, характеризующие число событий в единицу времени. Если итератор не кратен, то текущему значению $d3[i]$ присваивается предыдущее значение $d3[i-1]$ и цикл переходит к следующей итерации.

Описанный алгоритм при реализации его на языке программирования C для ЦСП позволяет получить следующие кривые (рис. 3).

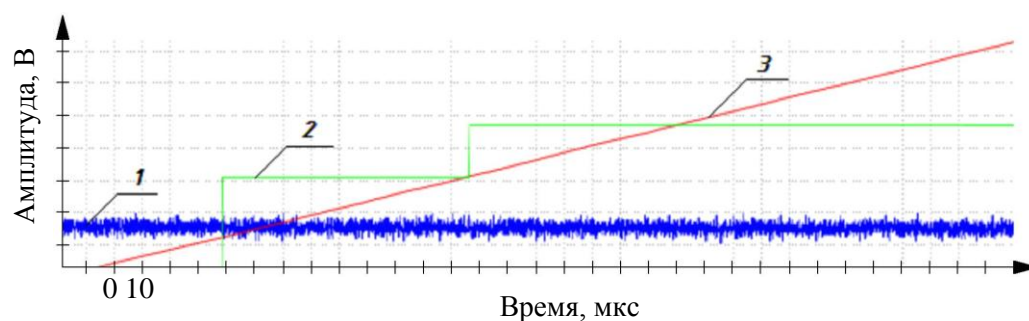


Рис. 3. Входной сигнал и его отображения:
1 – измерительный сигнал; 2 – число импульсов в единицу времени;
3 – число импульсов за все время

На данный момент алгоритм дает изображенные на рис. 3 кривые при подаче на его вход псевдослучайного сигнала (шума). На данном этапе алгоритм не содержит фильтров, детектирование события производится исключительно на основании амплитуды импульсов. Тем не менее участниками междисциплинарных проектных команд ведутся работы по определению необходимых параметров частотного фильтра, который будет в ближайшее время внедрен в алгоритм и, как следствие, в программу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник конструктора. Книга 1. Машины и механизмы: Учеб.-практ. пособие / В.Н. Феценко. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 400 с.
2. Вайнгард У. Введение в физику кристаллизации металлов. – М.: Мир, 1967. – 170 с.
3. Кушнарченко П.О., Дёмкина Е.А. Определение химического состава цветных сплавов в современных условиях производства // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 11. URL: <http://sibac.info/archive/technic/11.pdf> (дата обращения: 30.11.2017).
4. Жекамухов М.К., Шокаров Х. Б. Акустические волны кристаллизации и плавления веществ. – Нальчик: ЕБГУ, 1997. – 303 с.
5. Ланге П.К., Ярославкин А.Ю. Система для измерения размера зерна металлического сплава с использованием аппроксимационного спектрального анализа сигнала акустической эмиссии

- кристаллизации // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 2(34). – С. 68–74.
6. *Грешников В.А., Дробот Ю.Б.* Акустическая эмиссия. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 276 с.
 7. Акустические методы контроля и диагностики. Часть II: Учеб. пособие / *Л.А. Оглазнева, А.Н. Калинин*. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 292 с.
 8. *Федорков Б.Г., Телец В.А.* Микросхемы ЦАП и АЦП. Функционирование, параметры, применение. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
 9. *Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А.* Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. – СПб: БХВ-Петербург, 2001. – 464 с.
 10. *Воронцов В.Б.* Акусто-эмиссионный анализ содержания водорода в расплавах алюминия // *Металлургия машиностроения*. – 2002. – № 5. – С. 5–7.

Статья поступила в редакцию 27 января 2018 г.

DEVELOPMENT OF METHOD AND SOFTWARE FOR DETERMINING THE SIZE OF GRAIN OF ALUMINUM

A.V. Bochkarev, P.Y. Zobnin, E.E. Yaroslavkina

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federatin

Abstract. *The paper considers a technique for obtaining informative data from the acoustic emission signal measured during the crystallization of deformed aluminum alloys. The need for introduction of this method to enterprises, the urgency of the problem of the lack of operational control of the grain size and the mechanical properties of billets from aluminum deformable alloys is described. The most significant algorithms for analyzing acoustic emission signals are identified, and the choice necessary for implementation is made. A block diagram of the required algorithms is formed, a description of the individual blocks is given. The necessary corrections are indicated for the possibility of implementing the generated algorithms in the form of a program on an analog-to-digital converter with an integrated digital signal processor. An example of testing the received software for processing a random signal is given.*

Keywords: *acoustic emission, deformed aluminum alloys, poles, analog-to-digital converter, digital signal processor, number of events.*

Andrey V. Bochkarev, Graduate Student.

Pavel Y. Zobnin, Graduate Student.

Ekaterina E. Yaroslavkina (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.