

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЛИТЬЯ

*Сыдыков Ж.Б.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Капранов Б.И., д.т.н., профессор кафедры  
физических методов и приборов контроля качества*

Современный уровень развития науки и техники требует постоянного повышения качества промышленной продукции. Поэтому к качеству продукции предъявляются повышенные требования.

Технологический цикл производства сплавов состоит из нескольких этапов, наиболее важным среди которых является процесс литья слитков. При отливке слитка на его поверхности могут образовываться различные дефекты: трещины, неслитины, ликвационные наплывы [1].

Слитки круглого и прямоугольного сечений отливаются методом непрерывного литья, сущность которого заключается в непрерывной подаче жидкого металла в специальную водоохлаждаемую изложницу (кристаллизатор) с подвижным дном, роль которого выполняет подвижный поддон, перемещающийся в вертикальном направлении. При одновременном опускании поддона и заливке поплавок, в верхней области слитка образуется лунка жидкого металла. Граница лунки (граница между жидким и твердым металлом) является достаточно четко выраженной. Качество слитка находится в обратной зависимости от глубины лунки [2]. Для снижения глубины необходимо как можно медленнее опускать поддон со слитком. В этом случае производительность будет низкая. Немного увеличив глубину лунки, можно значительно ускорить литье и, следовательно, повысить производительность. Оптимальная глубина лунки варьируется в определенном диапазоне, который зависит не только от технологических параметров, но и от требуемого качества слитка [3]. Зная геометрические параметры лунки (форму и глубину), можно регулировать скорость опускания поддона со слитком, обеспечивая при этом требуемое качество.

Геометрические размеры лунки слитка отечественные металлурги получают простейшим, но небезопасным и неточным способом – литейщик для определения глубины лунки опускает в ее полость щуп. В большинстве же случаев лунку вообще не контролируют, а скорость литья подбирают на основании исследований затвердевших слитков.

Зарубежные компании получают данные о лунке в основном радиационным способом.

Из известных видов неразрушающего контроля [4] для контроля слитка больше всего подходят или радиационный, или акустический методы неразрушающего контроля. Остальные методы контроля невозможно или очень затруднительно применить для задачи исследования лунки слитка. Использование радиационного метода требует применения специальной защиты персонала. Помимо этого, данный метод ограничен проникающей способностью (до 0,5 метра) [5]. Из-за этого для контроля слитков большой толщины (до 1 метра) необходимо увеличивать мощность излучения, что требует дополнительных средств защиты, а также возникает риск появления остаточной радиации.

Эффективный контроль литейных технологических процессов и качества отливок позволяет осуществлять ультразвуковой (УЗ) метод, обладающий максимальным информативным потенциалом, а также безопасностью и портативностью применяемого оборудования [6]. Использование этого метода позволяет получать мгновенное изображение контролируемого объекта. Данный метод также ограничен проникающей способностью. Однако в отличие от радиационного метода контроля ультразвуковой контроль возможно осуществлять как сбоку от объекта контроля, так и над ним, что позволяет исключить проблему проникающей способности.

В отливках, затвердевающих в формах, различают твердую корку, двухфазную область из жидкости и кристаллов и полностью жидкую сердцевину. Эти области затвердевания имеют различную плотность, а также различную скорость УЗ, т. е. акустическое сопротивление, вследствие этого границы раздела этих областей обладают отражающей способностью [7]. Это позволяет применить ультразвуковой метод для определения границы между ними. Данное положение подтверждено пока немногочисленными разработками и исследованиями [8]. Так, в Швейцарии применяют устройство для контроля толщины корки слитка и глубины проникновения жидкой фазы на УНРС (установка непрерывной разливки стали) при вводе УЗ через воду. УЗ можно вводить также через промежуточные линии задержки (волноводы) и расплав смеси солей, а для непосредственного измерения необходимо использовать ультразвуковые приборы. Реализация ультразвукового метода контроля затвердевания связана с дополнительными трудностями, обусловленными снижением механической прочности материала и значительным увеличением затухания УЗ волн в горячем металле, а также необходимостью создания надежного акустического контакта между датчиком и контролируемым металлом [9].

Методы ультразвукового контроля основаны на излучении и приеме акустических волн (бегущих, стоячих) и регистрации акустических волн, возникающих в материалах и изделиях [10]. Для контроля литья слитков больше всего подходят эхо-метод и теневой (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение акустических методов контроля по пятибалльной шкале [11]

Метод	Определение структуры и физико-механических	Определение размеров	Выявление дефектов плавки и литья			
			Неслитинны	Усадочные раковины	Газовые поры и пузыри	Горячие и холодные трещины
Теневой	4	4	3	4	4	4
Эхо-импульсный	4	4	3	4	3	4
Резонансный	4	4	0	4	0	0
Эмиссионный	0	0	0	0	0	0
Импедансный	0	0	0	0	0	0
Свободных колебаний	0	0	0	4	0	0

Акустические методы классифицируют также по способу контакта преобразователя с изделием. УЗ волны хорошо отражаются от тончайших воздушных зазоров, поэтому существует несколько способов ввода УЗ в изделие:

- 1) контактный;
- 2) щелевой (менисковый);
- 3) иммерсионный;
- 4) бесконтактные способы.

Для возбуждения упругих колебаний используют преобразователи пьезоэлектрические, магнитострикционные и электромагнитно-акустические (ЭМА) [12]. Наиболее распространены пьезоэлектрические преобразователи из монокристалла кварца или пьезокерамических материалов – титаната бария, цирконат-титаната свинца (ЦТС) и другие.

В ряде случаев для контроля качества отливок необходимо использовать специальные преобразователи [13]. Фокусирующие преобразователи можно использовать для обнаружения мелких дефектов и повышения надежности контроля сложно-рельефных поверхностей. Для контроля отливок с грубой поверхностью можно применять преобразователи контактно-иммерсионные с щелевым контактом между дном-мембраной и отливкой, с локальной иммерсионной ванной и дном в ви-

де эластичной мембраны, с локальной иммерсионной ванной в виде катка со стенками из эластичного материала [14].

Для создания надежного акустического контакта при ультразвуковом контроле используют контактные жидкости, помещаемые между ультразвуковым преобразователем и изделием [15]. При создании контакта через расплав солей, помещаемых между звукопроводом и нагретым изделием, применяют соли щелочных и щелочноземельных элементов  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KNO}_2$ ,  $\text{NaNO}_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{LiNO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ,  $\text{KCl}$  и их смеси. Эти соли и их смеси имеют точку плавления 150 – 1000 °С, трудно испаряются, обладают высокими смачивающими свойствами и хорошо проводят УЗ [16]. Способ создания акустического контакта через промежуточные звукопроводы и расплав солей перспективен для контроля расплавов и процессов, протекающих при охлаждении отливок в формах.

При разработке промышленного оборудования и технологии ультразвукового исследования расплава большое внимание уделяют выбору материала и конструкции излучателя [17]. Выбор материала для его изготовления осуществляют с целью создания излучателей ультразвука с пренебрежимо малым износом.

Уже в первых экспериментах было обнаружено, что керамика малоприспособна для передачи ультразвука в расплав. Отечественный опыт работы по ультразвуковой обработке расплава цветных металлов и сплавов показал, что наиболее высокие эксплуатационные характеристики имеют излучатели из тугоплавких металлов и сплавов на основе  $\text{Ti}$  и  $\text{Nb}$ .

Выбор в качестве материала инструмента для длительной работы в высокотемпературном расплаве (жидкий алюминий, магний и их сплавы) сплава на основе ниобия обусловлен особенностями поведения его упругих характеристик при воздействии температуры. Так, модуль нормальной упругости ниобия в отличие от практически всех высокотемпературных металлов и сплавов (титан, тантал, молибден, вольфрам, сталь) не меняется в интервале температур 20–1200°С, в то время как для этих материалов он при нагревании монотонно падает [18].

Обследования установок полунепрерывного литья показали, что лучшее расположение ультразвуковых датчиков возможно лишь над жидким металлом или же непосредственно в нем. Из-за высоких температур плавления металла необходимо использовать волновод для передачи ультразвуковой волны в полость лунки или специальный защитный слой датчика, обладающий высокой теплоемкостью и высокой проницаемостью волн высокой частоты.

Анализ полученных данных позволяет осуществить научно обоснованный подход к выбору материала излучателя ультразвука в зависимости от вида процесса ультразвукового исследования расплава и экономических условий его проведения.

### Список информационных источников

1. Альтман М. Б. Плавка и литье алюминиевых сплавов: справ. изд. М. Б. Альтман, А. Д. Андреев, Г. А. Балахонцев. М.: Metallurgy, 1983. 352 с.
2. Баландин Г. Ф. Формирование кристаллического строения отливок Г. Ф. Баландин. М.: Наука, 1973. 352 с.
3. Анализ процесса плавки алюминия и его сплавов в кристаллизаторе с подвижным дном А. В. Хныкин, А. К. Гроо, Е. К. Дехант, Е. А. Вейсов Информатика и системы управления. Вып. 8: Сб. науч. ст. Красноярск: ГУ НИИ информатики и процессов управления, 2002. 171-175.
4. Викторов И. А. Ультразвуковые поверхностные волны в твердых телах И. А. Викторов. М.: Наука, 1981. 288 с.
5. Кикучи Е. Ультразвуковые преобразователи: науч. изд. Е. Кикучи. М.: Наука, 1968. 124 с.
6. Хныкин А. В. Разработка системы сканирования лунки слитка А. В. Хныкин, В. И. Башлыков Оптимизация режимов работы электротехнических систем: межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. 106-110.
7. Эскин Г. И. Metallovedenie i litye legkikh spлавов. Г. И. Эскин, П. Н. Швецов. М.: Metallurgy, 1977. 430 с.
8. Хныкин А. В. Ультразвуковое сканирование как метод повышения эффективности производства алюминия А. В. Хныкин, Е. А. Вейсов Алюминий Сибири 2005: Сб. докл. XI международной конф. Иод ред. И. В. Полякова. Красноярск: ПТЦ «Легкие металлы», 2005. 174-177.
9. Ермолов И. Н. Неразрушающий контроль в 5-ти кн. Кн.
10. Елизаров А. Б. Исследование и разработка новых алгоритмических методов для синтеза трехмерных изображений высокого разрешения в ультразвуке.
11. Золоторевский В. Структура и прочность литых алюминиевых сплавов: Науч. изд. В. Золоторевский. М.: Metallurgy, 1981. 306 с.
12. Калинин В. А. Современные ультразвуковые толщиномеры: науч. изд. В. А. Калинин, А. А. Нраницкий, Л. Б. Цеслер. М.: Машиностроение, 1972. 53 с.

13. Непрерывное литье во вращающееся магнитное поле А. Д. Акименко, Л. Н. Орлов, А. А. Скворцов, Л. Б. Шендеров. М.: Metallurgy, 1971. 177 с.
14. Кажис Р.-И. Ю. Ультразвуковые информационно-измерительные системы Р.-И. Ю. Кажис. Вильнюс: Мокслас, 1986. 224 с.
15. Лебедев В. М. Отливки из алюминиевых сплавов В. М. Лебедев. М.: Машиностроение, 1970. 186 с.
16. Пьезополупроводниковые преобразователи и их применение: науч. изд. А. П. Морозов, В. В. Проклов, Б. А. Станковекин и др. М.: Энергия, 1973. 258 с.
17. Прэйт У. Цифровая обработка изображения в 2-х т. Т. 2: пер. с англ. У. Прэйт. М.: Мир, 1982. 414 с.
18. Graff K. Macrosonics in industry: ultrasonic soldering K. Graff Ultrasonics. 1977. №3. P. 75-81.

## **ПОИСК КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ ПО ДАННЫМ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СТРУКТУРНЫХ НАРУШЕНИЙ В МАТЕРИАЛАХ**

*Цыбенков Д.Ц.А., Хорсов Н.Н.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Суржиков А.П., д. ф.-м.н., профессор кафедры  
физических методов и приборов контроля качества*

Для специалистов по неразрушающему контролю актуальной задачей по сей день является выявление дефектов в материале, их количество и степень их опасности. Акустические методы являются наиболее широко используемым методом. Однако, принимая во внимание, что чувствительность этих методов по обнаружению дефектов малых размеров невысока, существует необходимость более чувствительного метода контроля, чем акустический метод. Поставленную задачу можно решить с использованием механоэлектрических преобразований. Суть метода заключается в следующем. При возбуждении объекта исследования короткими импульсами в нем возникает бегущая акустическая волна, которая распространяясь по материалу, отражаясь от границ и претерпевая искажения, связанные с его внутренней дефектностью и неоднородностью, воздействует на источники МЭП. На основании анализа результатов измерений и расчетов, выполненных с использованием