

Визначення раціонального рівня завантаження дробарок базується на основі наступних факторів: фізико-механічні параметри вхідного рудного потоку, питомі витрати футеровочної броні, витрати енергії на дроблення та інтегральна характеристика у вигляді собівартості продукту.

У подальших дослідженнях доцільно розглянути моделювання роботи системи керування всього тракту III-IV стадій дроблення з використанням розробленої підсистеми визначення рівня заповнення дробарки.

Список літератури

1. **Johansson. A.** Modeling and simulation of cone crushers / **A. Johansson** // Automation in Mining, Mineral and Metal Processing. – 2009. - №1. – P.13 – 18.
2. **Hulthén E.** Algorithm for dynamic cone crusher control / **E. Hulthén, C. M. Evertsson** // Minerals Engineering. – 2009. – №22. – P. 296 – 303.
3. **Hulthén E.** Real-time algorithm for cone crusher control with two variables / **E. Hulthén, C. M. Evertsson** // Minerals Engineering. – 2011. – №24. – P. 987 – 994.
4. **Lindqvist. M.** Improved flow- and pressure model for cone crushers / **M. Lindqvist., C.M. Evertsson** // Minerals Engineering. – 2004. – №17. – P.1217 – 1225.
5. **Quist J.** Cone Crusher Modelling and Simulation / **J. Quist.** – Goteborg, 2012. – 68.
- 6 7*. АСУ технологическими процессами / **Б.И. Салыга, В.И. Салыга, Н.М. Кораблев, О.Г. Руденко.** – Харьков: Высш. школа, 1976.– 180 с.
7. **Афанасьев Г.Д.** Исследование конусных дробилок как объекта автоматизации и обоснование принципов автоматического регулирования их загрузки: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / **Г.Д. Афанасьев.** – Орджоникидзе, 1965. — 19 с.
8. **Гринман. И.Г.** Контроль и регулирование процессов дробления и грохочения руд / **И.Г. Гринман, А.Б. Бекбаев.** – Алма-Ата: Наука, 1977. – 118 с.
9. **Клушанцев Б.В.** Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / **Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев, Ю.А. Муйземнек.** – М.:Машиностроение. – 1990.– 320 с.
10. **Марюга А.Н.** Автоматическое управление технологическими процессами обогащительных фабрик: учебник для вузов / **А.Н. Марюга, Ю.Г. Качан, В.А. Бунько.** – М.: Недра, 1983. – 277 с.
11. **Назаренко В.М.** Критерии оптимальной работы дробилки мелкого дробления / **В.М. Назаренко, А.И. Савицкий, М.П. Тиханский, М.В. Назаренко** // Горный журнал. Известия ВУЗов. – 1995. – №2. – С.113 – 117.
12. **Персиц В.З.** Измерение и контроль технологических параметров на обогащительных фабриках / **В.З. Персиц.** – М.: Недра, 1989. – 191 с.

Рукопис подано до редакції 14.03.14

УДК 621.74: 669.131.7

А.С. АМЕЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
В.В. ВАСИЛЬЄВ, магістр, Т.В.ІЛЬЧЕНКО, В.С. ДВОРНИКОВ, магістранти
Криворізький національний університет

СУЧАСНИЙ МЕТОД ДЕФЕКТОСКОПІЇ ЧАВУННИХ ВИЛИВКІВ

У статті визначено сучасні методи контролю якості чавунних виливків. Зроблено висновки що до високої спроможності і точності проникнення ультразвукових хвиль в чавуні. Ультразвуковий контроль чавунних виливків є пріоритетним і підтверджена доцільність його широкого використання в практиці серійного виробництва виливків з чавуну при стабільній технології лиття великих партій.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Високоміцний чавун вигідно відрізняється від сталі хорошими ливарними властивостями (високою рідкоплинністю, малою схильністю до утворення гарячих тріщин, меншою усадкою і т.ін.), простотою процесу виплавки й меншою вартістю. Поряд з конструкційним чавуном застосовуються високоміцні чавуни зі спеціальними властивостями: жаростійкий і жароміцний, стійкий у різних агресивних середовищах, антифрикційний з низьким коефіцієнтом тертя та ін. З високоміцного чавуну виготовляються виливки широкого діапазону ваги. Властивості цього матеріалу досить різноманітні, так що він застосовується замість сірого чавуну для подовження терміну служби виливків, замість сталі з метою спрощення й здешевлення виробництва, зменшення витрат металу й

раціоналізації конструкції виливків, замість кольорових сплавів з метою скорочення витрат дефіцитних матеріалів і зменшення вартості машин. Різноманітність властивостей і економічність високоміцного чавуну з кулястим графітом, одержуваного модифікуванням звичайного чавуну магнієм, церієм, молібденом або сплавами, що містять ці елементи, є важливими факторами, що дозволяють збільшити виробництво виливків з нього до 10 % від загального випуску чавунного лиття. Водночас серійне виробництво виливків потребує швидкого і надійного контролю їх якості ефективними сучасними методами дефектоскопії [1].

На дефектоскопічність чавунних виливків впливають кілька факторів, але в першу чергу - структура. У промисловій і лабораторній практиці структуру чавуну звичайно досліджують металографічним методом. Для виготовлення шліфів необхідно відливати спеціальні проби (їхня структура не завжди адекватна структурі виливка, особливо якщо є різниця в товщині), або частково зруйнувати вилівок, а іноді використовувати зразки, вирізанні із додатку наливникової системи. Підготовка поверхні шліфів для аналізу пов'язана з ручною роботою і застосуванням агресивних хімічних реагентів небезпечних для здоров'я людини [1].

Ультразвуковий контроль структури чавуну усунув би більшість недоліків металографічного методу, однак його застосування стримується тим, що акустичні характеристики (швидкість і коефіцієнт загасання ультразвуку) залежать від технологічних особливостей одержання чавуну.

Аналіз досліджень та публікацій. Вперше використовувати ультразвук для контролю структури металу запропонував радянський вчений С.Я. Соколов. Перші роботи з ультразвукового структурного аналізу чавуну в нашій країні належать Н.В. Химченко, Р. Циглеру, Р. Герстнеру, Г.Биверту.

Ультразвукова дефектоскопія чавуну розвивалася складним шляхом. Коли для ультразвукового контролю сталі розроблялися основні закони й сучасні методики, чавун вважався недефектоскопічним через загасання ультразвуку в ньому, і як об'єктом контролю - практично не займалися. Дійсно у сірого чавуну низьких марок, такого як СЧ-10 і нижче, коефіцієнт загасання ультразвуку в кілька разів перевищував його значення для сталі, але для СЧ-20 і більш високих марок чавуну істотних перешкод для дефектоскопії не існувало.

Ультразвук - це пружні коливання й хвилі високочастотної частини спектра акустичних хвиль: інфразвукові - до 20 Гц; звукові - $(20-2 \cdot 10^4)$ Гц; ультразвукові - $(2 \cdot 10^4-10^9)$ Гц;

Збудження від джерела передаються часткам середовища, які починають коливатися що до свого положення рівноваги й передають ці коливання сусіднім часткам, у результаті чого, у середовищі виникає хвиля (принцип доміно). Основна властивість пружних хвиль полягає в тому, що у хвилі здійснюється перенос енергії без переносу речовини. У теорії і практиці ультразвукової дефектоскопії важливе місце займають гармонійні хвилі, у яких зміна стану середовища відбувається за синусоїдальним законом. У середовищі, що володіє дисперсією (розсіюванням) відбувається перекручування форми хвилі. У необмеженому однорідному ізотерпному середовищі поширення ультразвукових хвиль має просторовий характер, і залежно від фронту хвилі, можуть бути: плоскими, сферичними й циліндричними. Залежно від пружних властивостей середовища, у ній можуть виникати хвилі різних видів, що відрізняються напрямком зсуву коливань часток. Якщо коливання часток збігаються з напрямком поширення хвилі, то хвиля буде повздовжньою і може бути збуджена у твердому, рідкому і газоподібному середовищах. Якщо коливання часток перпендикулярні напрямку поширення хвилі, то хвиля буде поперечною і може збуджуватися тільки у твердому тілі. На вільній поверхні твердого тіла можна збудити поверхневі хвилі (Релея), частки, які рухаються по еліпсах, амплітуда згасає по експоненті в шару 1-1,5λ. У тонких плоских шарах з постійною товщиною *t* можна збудити нормальні хвилі (Лемба) [2].

Методи ультразвукового контролю вчені розділяють на дві групи: 1 - хвиль, що біжать;

2 - акустичної емісії. На методи хвиль, що біжать, засновані:

1. *Тіньовий метод* (метод наскрізного прозвучування) чавунних виливків, коли випромінювач і приймач розділені. Дефект на шляху ультразвукових хвиль послабляє прийнятий сигнал і затримує його прихід до приймача.

2. *Ехо-Метод*. Шукач генерує ультразвуковий імпульс, що відбивається від дефектів (неоднорідностей і приймається тим же або іншим шукачем. Сигнали розрізняють за часом їхнього приходу.

3. *Дзеркально-тіньовий метод*, при якому ехо-методом про дефекти судять по ослабленню донного сигналу.

4. *Імпедансний метод* - полягає в спостереженні за режимом коливань стрижня, що опирається на поверхню виробу. При наявності дефекту змінюються: акустичний імпеданс, збільшується амплітуда коливань, змінюються фаза й частота коливань.

До другої групи відноситься *метод акустичної емісії*, заснований на реєстрації пружних коливань, що виникають у момент утворення тріщин або їхнього розвитку. У цьому випадку випромінювачем ультразвуку уловлюється дефект, що зароджується.

При проведенні дефектоскопії чавунних виливків існують фактори, що обмежують застосування ультразвукового контролю, це:

1. Неоднорідність структури матеріалу. Наявність крупнозернистості структури, мікроскопічної неоднорідної фізико-хімічної системи викликає сильне розсіювання ультразвуку, послабляє корисний сигнал на тлі більших шумів, (корозійно-стійкі сталі, чавуни з великими графітовими включеннями, бетони).

2. Складність форми й малі розміри виробів. Ці фактори затрудняють введення ультразвуку у виріб, а при наявності виступів і виїмок поблизу розташування дефектів можуть виникати помилкові сигнали.

3. Груба поверхня виробу (нижче $R_z=40$) приводить до послаблення чутливості ультразвукового контролю і нестабільності акустичного контакту п'єзоелектричного перетворювача з виробом. Вимоги до шорсткості особливі високі при контактному способі ультразвукового контролю і знижуються при імерсійному способі.

4. Ультразвуковими методами чітко виявляються дефекти, але часто виникають серйозні труднощі при визначенні їхніх розмірів і характеру, що має вирішальне значення для оцінки результатів ультразвукового контролю, [3,4].

У практиці ультразвукових досліджень металів застосовують ультразвукові коливання із $f=0,5-10$ МГц, які можуть бути отриманні за допомогою перетворювачів : п'єзоелектричних, магнітострикційних, електро-магніто-акустичних. Найбільше поширення одержали п'єзоелектричні перетворювачі, активним елементом яких можуть бути пластини із кварцу або п'єзокерамічних матеріалів - титанату барію. Цирконат титанату свинцю і ін. На поверхні п'єзоелементів наносять тонкі шари срібла - електроди й поляризують. При приведенні до електродів електричної напруги п'єзоелемент робить змушенні механічні коливання (розтягуються й стискаються) із частотою електричної напруги (зворотній п'єзоэффект). При впливі на п'єзоелемент пружних механічних коливань на його електродах виникає змінна електрична напруга із частотою механічних коливань, що впливають, (прямий п'єзоэффект). Найбільша амплітуда коливань п'єзоелемента буде при резонансі, коли власна частота його коливань збігається із частотою змінної напруги, яка збуджує ці коливання. Якщо п'єзоелемент прикласти до контрольованої деталі, то в ній будуть збуджуватися й поширюватися пружні коливання, безперервні або імпульсні [1,4]. Загасання ультразвукових коливань відбувається по експоненціальному закону, де враховується відстань пройдена хвилею й коефіцієнт загасання хвилі. Коефіцієнт загасання (коефіцієнт поглинання й розсіювання ультразвукових променів) у різних матеріалів різний. При поглинанні звуку енергія пружних коливань переходить у теплову в однорідному ізотропному середовищі. У полікристалічному середовищі й металах загасання визначається розсіюванням енергії ультразвукових коливань зернами металу. Крім того, у металах можлива реверберація - постійне загасання коливань, обумовлене повторними відбиттями.

Реверберація буває об'ємною і структурною. Інтерференція - результат додавання двох або декількох когерентних коливань, що впливають на ту саму крапку середовища. Інтерференція може привести до утворення стоячих хвиль.

Дифракція - огинання ультразвуковими коливаннями перешкод (розміри яких порівняні з довжиною хвилі) і утворення звукового поля в місцях, куди не проникає прямий промінь від джерела.

Дифракція й інтерференція сполучені один з одним й існують одночасно [3,4].

Постановка завдання. У зв'язку з тим, що відсоток браку при виготовленні чавунних виливків іноді буває дуже високим, що впливає на збільшення їх собівартості, а також у зв'язку з тим що не всі методи контролю якості виливків дають позитивний ефект, метою дослідження є доведення ефективності ультразвукового контролю чавунних виливків при серійному виробни-

цтві при стабільній технології з метою підвищення ефективності неруйнівного контролю та зменшення витрат при його застосуванні замінюючи застарілі, неефективні та енергоємні методи неруйнівного контролю.

Викладання матеріалу та результати. Для виявлення дефектів типу внутрішньої пористості, у якості розсіювача та поглинача звукової хвилі, найбільш підходить дзеркально-тінювий метод ультразвукової дефектоскопії.

Суть його полягає у тому, що на початку визначають величину амплітуди донного сигналу (відбитого від площини, паралельної поверхні уведення ультразвукового сигналу) на бездефектній ділянці вилівка, а потім при переміщенні перетворювача по контактній поверхні вилівка, якщо з'являється зменшення даного сигналу, фіксується нова координата центру перетворювача і цим визначається границя передбаченого дефекту.

Об'єктом дослідження є чавунні тубінги кілець тунельного оброблення, виготовленні вилівком із сірого чавуну марки СЧ-21-40, що володіє високою стійкістю проти корозії та має роз-рахункові значення опору: стиску - 180 МПа, розтягання - 60 МПа і порівняння їх з контрольними вилівками виготовленими із чавуну модифікованого магнієм з кулястим графітом марки ВЧ-40.

Вимірювання проводилися по чистій контактній литій поверхні.

Використовувалися прямі сполучені перетворювачі із частотою 1,2 МГц. Отримано різні значення критерію границі дефекту, що обумовлено розширенням кута розкриття діаграми спрямованості через розсіювання ультразвуку на шорсткості поверхні.

Для оцінки чутливості ехо-методу дефектоскопії, тобто виявлення дефекту по відбиттю сигналу від нього, необхідно привести експеримент на еталонному зв'язку зі штучними відбивачами. Якщо дзеркально-тінювий метод можна застосувати для виявлення дефектів виду пористості, тоді ехо-метод можна застосувати для дефектів, що володіють здатністю відбивати звукову хвилю - це пори, раковини, тріщини.

Моделлю дефекту типу одиночної пори може служити проріз циліндричного отвору. На вилівку з контрольованого чавуну ВЧ-40 проводилися вимірювання відбитого сигналу від торців прорізів циліндричної форми діаметром 2,4,6,8 мм на глибині 10,15,20,25,30 мм.

Виміри виконувались прямим сполученням перетворювачем діаметром 10 мм і частотою 1,2 МГц по литій поверхні.

За результатами вимірів побудовані АРД-діаграми, які дозволяють визначити еквівалентні діаметру дефекту. Чим більше розміри дефекту, тим він легше виявляється по відбитому від нього сигналу.

При дефектоскопії великої серії однотипних вилівок можлива часткова або повна автоматизація процесу.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Неоднорідність структури матеріалу. Наявність крупнозернистої структури, мікроскопічно неоднорідної фізико-хімічної системи викликає сильне розсіювання ультразвукових хвиль, послабляє корисний сигнал.

Груба поверхня виробу (нижче $R_z=40$) приводить до послаблення чутливості і нестабільності акустичного контакту з виробом.

Вимоги до шорсткості особливо високі при контактному способі і знижуються при імерсійному способі.

Ультразвукові методи чітко виявляють дефекти, визначають їх розм-ри і характер, що має вирішальне значення для оцінки результатів застосування ультразвуку і сучасних світових методів.

Ультразвукова дефектоскопія чавунних вилівок широко застосовується за кордоном. Нашій країні дефектоскопія чавуну не проводиться.

Відсутні надійні методи контролю, не розроблені теоретичні основи для них. ожливо підвищення вимог до якості вилівок послужить поштовхом до рішення цієї проблеми.

Для якісного обстеження чавунних вилівок необхідно чітко обирати методи ультразвукового контролю та розробляти кожну конкретну методику дослідження.

При складанні методики повинні бути обрані: частота й вид УЗК, напрямок їхнього поширення у виробі; тип перетворювача; місце установки його на виробі й схема сканування; вид акустичного контакту; чутливість і настроювання дефектоскопа, реєстрація й способи розшифровки показань дефектоскопа.

Доведення ефективності ультразвукового контролю чавунних виливків в умовах українських промислових підприємств для підвищення якості та конкурентоспроможності вітчизняного чавунного лиття.

Список літератури

1. **Л.В. Воронкова** Ультразвуковой контроль чугуновых отливок. – М.: 1998.
2. **Разумов-Раздолов К.Л.** Неразрушающий контроль в промышленности // «РИТМ» (Ремонт Инновации Технологии Модернизация). – 2010. - №9 С.36-39.
3. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. **Г.С. Самойловича**-М.: Машиностроение, 1976.
4. **Амелина А.И.** Новые методы контроля и дефектоскопии в машиностроении и приборостроении.

Рукопис подано до редакції 17.03.14

УДК 621.926: 34.16

С.Л. ЦВИРКУН, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СОПРОВОЖДЕНИЯ КРУПНОКУСКОВОЙ РУДЫ НА КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЕ

Рассмотрена автоматическая система сопровождения крупнокусковой руды на конвейерной ленте, в которой применена пороговая сегментация изображения для определения крупности руды, а также фильтр Калмана, для определения местоположения крупнокусковой руды на конвейерной ленте. В системе используется контроллер для сортировочного устройства на основе нечеткой логики.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, нечеткая логика, нечеткая база знаний, сортировка, функций принадлежности.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Сопровождение движущихся объектов - это один из составляющих компонентов многих систем реального времени таких, как системы слежения, анализа видео и других. Входными данными любого алгоритма сопровождения является последовательность изображений (кадров видео) с нарастающим объемом информации, которую необходимо обрабатывать и анализировать.

Алгоритмы для сопровождения объектов можно применять также и в горнодобывающей промышленности. Особенно стоит отметить применение алгоритма видеослежения за крупнокусковой рудой на конвейерной ленте.

Задача сопровождения состоит в том, чтобы построить траектории движения кусков руды на входной последовательности кадров.

Допустим, что положение кусков руды на изображении обозначается номером. Тогда траекторией движения объекта называется последовательность его положений, где - номер первого кадра, на котором был обнаружен объект - количество кадров последовательности, где наблюдается объект. Заметим, что в зависимости от метода сопровождения положение объекта может определяться по-разному (координаты и размер сторон окаймляющего прямоугольника, координаты центра масс контура и т.п.).

Анализ исследований и публикаций. Методы сопровождения объектов можно разделить на несколько категорий: методы сопровождения особых точек (point tracking).

В таких методах принимается, что положение объекта определяется расположением набора характерных точек. Один и тот же объект на последовательных кадрах представляется наборами соответствующих пар точек.

Данная группа методов разделяется на две подгруппы: детерминистские методы используют качественные эвристики движения (небольшое изменение скорости, неизменность расстояния в трехмерном пространстве между парой точек, принадлежащих объекту), по существу задача сводится к минимизации функции соответствия наборов точек; вероятностные методы используют подход, основанный на понятии пространства состояний (считается, что движущийся объект имеет определенное внутреннее состояние, которое измеряется на каждом кадре). Чтобы оценить следующее состояние объекта, требуется максимально обобщить полученные измерения, т.е. определить новое состояние при условии, что получен набор измерений для