

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ЧОРНИХ ТА КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

ЗВІТ

З НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ПРАКТИКИ

У Фізико-технологічному інституті металів і сплавів НАН України

Тема індивідуального завдання: «Вплив газоімпульсної і віброімпульсної обробки на формування безперервно литих заготовок»

Виконав студент
гр. ФЛ-51м

_____ Осадчий А.Г.
„___“ _____ 2017р.

_____ Нурадинов А.С.
ПІБ керівника від підприємства
„___” _____ 2017р.

Захистив з оцінкою

_____ 2017р.

_____ Розписи членів комісії

Місце печатки
підприємства, установи

Перевірив:
_____ проф. Могилатенко Г.Є.
ПІБ керівника від кафедри

„___” _____ 2017р.

Київ
2017

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів
Спеціальність – 8.05040201 – Ливарне виробництво чорних і кольорових металів і сплавів

Курс 2 Група ФЛ-51м Семестр 4

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

на період проходження науково-дослідної практики

Студенту Осадчому Артему Геннадійовичу
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема індивідуального завдання: Вплив газоімпульсної і віброімпульсної обробки на формування безперервно литих заготовок
2. Строк захисту студентом закінченого звіту 7 березня 2017 року
3. Вихідні дані до індивідуального завдання _____

4. Зміст індивідуального завдання (перелік питань, які підлягають розробленню під час переддипломної практики) _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників) _____

Дата видавання індивідуального завдання 6 лютого 2017 року

Студент _____
(Розпис)

Керівник від кафедри _____ Могилатенко В.Г.
(Розпис) (Прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник від підприємства, установи _____ Нурадинов А.С.
(Розпис) (Прізвище, ім'я, по батькові)

РЕФЕРАТ

Звіт: 46 с., 8 рис., 1 табл., 58 переліки посилань.

Мета роботи – основна мета газоімпульсної і віброімпульсної обробки спрямована на зниження кристалічної та хімічної неоднорідності затвердіваючих сплавів і збільшення виходу придатного литва.

Методика дослідження – застосована методика дослідження з використанням фізичного моделювання реальних металургійних процесів.

Результати та їх новизна – за даними моделювання можна рекомендувати наступні параметри: частота пульсації $150 \div 180 \text{ хв}^{-1}$; амплітуда $60 \div 100 \text{ мм}$ і глибина занурення труби $180 \div 190 \text{ мм}$.

Основні показники – утворені імпульси сприяють руйнуванню великих стовбчастих кристалів які ростуть від стінок до центру, це призводить до обламування дендритів і осідання їх на дно рідкої лунки, що в свою чергу призводить до подрібненню кристалічної структури розчину, збільшенню центрів кристалізації, збільшенню зони рівновісних кристалів.

Ступінь впровадження – зразки пройшли лабораторні випробування.

Область застосування – виготовлення злитків та заготовок методом безперервного лиття які в подальшому піддаються прокатуванню, куванню, штампуванню тощо.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – отримання виробів з дисперснішою структурою, а також нижчим рівнем хімічної і кристалічної неоднорідності, що призведе до отримання прокату та поковок з високими механічними властивостями.

СТРУКТУРА, ЛІКВАЦІЯ, ГАЗОІМПУЛЬСНА ОБРОБКА, ЧАСТОТА ПУЛЬСАЦІЇ, РОЗПЛАВ, КОМФЕН, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	6
1.1 Особливості способу безперервного литва	
1.2 Сучасні уявлення про газоімпульсну обробку розплавів при безперервному литті.....	8
1.3 Сучасні уявлення про віброімпульсну обробку розплавів при безперервному литті.....	14
1.4 Узагальнення результатів літературного огляду.....	25
1.5 Постановка задач дослідження.....	27
2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	31
2.1 Методика проведення експерименту.....	31
2.2 Принцип роботи пристрою.....	32
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	34
4 ПЕДАГОГІЧНА ПРАКТИКА.....	36
ВИСНОВКИ.....	39
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	40
ДОДАТКИ.....	46

ВСТУП

Газоімпульсна обробка чорних і кольорових сплавів є ефективним способом перемішування розплавів. Її принцип був створений українськими фахівцями і застосований для обробки сталі у виливниці, а пізніше – японськими фахівцями для обробки сталі в ковші.

Сутність способу полягала в періодичному вакуумному всмоктуванні металу і наступному виштовхуванні його через вогнетривкий металопрвід, наприклад в порожнину ковша.

Газоімпульсне оброблення застосовують також для перемішування сталі в кристалізаторах для безперервного розливання слябів.

Процес здійснюють за допомогою спеціальної установки шляхом циклічного виштовхування стиснутим газом з порожнини зануреної вогнетривкої труби порцій рідкого металу.

Вібрація у ливарному виробництві успішно застосовується для виготовлення форм і стрижнів. У меншій мірі вона використовується для управління процесом кристалізації виливків, незважаючи на те, що вібрація розплаву під час його затвердіння в формі сприяє зменшенню газової та усадочною пористості, усуненню гарячих тріщин у виливках і викликає суттєве подрібнення зерна в литих металах і сплавах.

Для збудження вібрації застосовуються пневматичні, механічні і електромагнітні вібратори. Пневматичні (поршневі) вібратори при номінальному тиску повітря забезпечують частоту не вище 50...60 Гц. Механічні вібратори вельми різноманітні за конструкцією. При вібрації виливків і злитків застосовуються вібратори ексцентрикового типу. Такі вібратори забезпечують плавне регулювання частоти в широких межах (найчастіше 50...150 Гц). Електромагнітні вібратори найбільш прості в експлуатації і забезпечують частоту 50...200 Гц.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Особливості способу безперервного литва

Безперервне литво – процес отримання з рідкої сталі злитків (для прокату, кування або пресування), що формуються безперервно в міру надходження рідкого металу з одного боку кристалізатора і видалення частково затверділої заготовки з протилежного боку. Цей процес відбувається на установках безперервного розливу сталі, що також називаються машинами безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Безперервне розливання сталі має наступні переваги перед звичайним розливанням:

- на 10...15 % скорочується витрата металу на 1 т придатного прокату внаслідок зменшення обрізу частин заготовки;
- скорочуються капітальні витрати на спорудження металургійного заводу, оскільки виключаються парк чавунних виливниць, відділення для їх підготовки та вилучення зливків з виливниць, на яких великі злитки обжимаються в заготовки для подальшої прокатки;
- створюються умови для повної механізації і автоматизації процесу розливання;
- завдяки прискоренню затвердіння підвищується ступінь однорідності металу, поліпшується його якість.

При безперервному розливанні сталі рідкий метал надходить в наскрізну виливницю (кристалізатор). Стінки кристалізатора (виготовленого зазвичай з міді) інтенсивно охолоджуються водою, що циркулює по наявних у них каналах. На початку процесу в кристалізатор вводиться тимчасове дно – так звана затравка. Метал твердне поблизу стінок кристалізатора й поблизу затравки, і оболонка заготовки починає витягуватися з кристалізатора із заданою швидкістю. Зверху в

кристалізатор безперервно подається рідкий метал в такій кількості, щоб його рівень був постійним у процесі всього розливання. Для зменшення зусиль витягування на стінки кристалізатора подається мастило. Заготовка що виходить з кристалізатора з рідкою серцевиною потрапляє в зону вторинного охолодження, де на її поверхню подається з форсунок розпорошена вода. Після затвердіння по всьому перетину заготовка розрізається на частини необхідної довжини.

До 1963р в промисловому масштабі застосовувалися МБЛЗ вертикального типу, у яких формування заготовки та різання її здійснювалися на вертикальній ділянці. При литві заготовок великої товщини ділянку її різання розташовується на відстані 15...20 м від кристалізатора, а загальна висота установки може перевищувати 40 м. Для розміщення такої установки потрібна споруда веж чи колодязів.

Прагнення зменшити висоту МБЛЗ призвело до створення установок радіального і криволінійного типів. На радіальних МБЛЗ кристалізатор і напрямні пристрої вторинного охолодження розташовані на дузі певного радіуса (зазвичай радіус дорівнює 30...40 товщинам заготовки). В кінці радіальної ділянки заготовка проходить через тягнучі ролики і виводиться в горизонтальне положення, в якому проводиться різання. На МБЛЗ криволінійного типу кристалізатор і частина зони вторинного охолодження мають постійний радіус, потім радіус збільшується і відбувається поступове випрямлення заготовки.

МБЛЗ радіального і криволінійного типів, у яких неповністю затверділа заготовка виходить на горизонтальну ділянку, дозволяють значно підвищити швидкість розливання при великих перерізах заготовки, так як ділянка різання може бути розташованою на досить великій відстані від кристалізатора (30...35 м). Загальна висота таких установок, як правило, не перевищує 12 м.

На МБЛЗ відливаються заготовки квадратного перерізу розміром від 50...50 до 300...300 мм, плоскі сляби товщиною від 50 до 300 мм і шириною від 300 до

2000 мм, круглі заготовки (суцільні і з внутрішньою порожниною) діаметром від 100 до 550 мм, з яких отримують труби, сортовий і листовий прокат, поковки.

Велика ступінь хімічної однорідності по перерізу безперервно литих заготовок забезпечує стабільні механічні властивості і підвищує надійність роботи металовиробів.

Завдяки своїм перевагам безперервне розливання сталі прийняте як основний спосіб розливання у всіх нових споруджуваних сталеплавильних цехах і широко використовуватися при реконструкції діючих заводів. Найбільша продуктивність МБЛЗ забезпечується при їх роботі в поєднанні з кисневими конвертерами. У цьому випадку досягається рівність циклів випуску сталі з конвертера і розливання її на МБЛЗ, завдяки чому рідкий метал може подаватися на установку безперервно протягом тривалого часу.

Безперервне лиття сталі є найпрогресивнішою технологією, і в індустріально розвинених країнах цей процес бурхливо розвивається.

1.2 Сучасні уявлення про газоімпульсну обробку розплавів при безперервному литті

Основна мета газоімпульсної і віброімпульсної обробки спрямована на зниження кристалічної та хімічної неоднорідності затвердіваючих сплавів і збільшення виходу придатного литва. Особливості цих методів обробки і застосування їх у металургії детально висвітлені в роботі [1]. Тому в даному розділі для глибшого розуміння механізму імпульсного впливу на розплав розглянуті деякі процеси, що супроводжують газоімпульсну і віброімпульсну обробку і коротко викладено результати застосування цих технологій.

Газоімпульсна обробка чорних і кольорових сплавів є ефективним способом перемішування розплавів. Її принцип був створений українськими фахівцями і застосований для обробки сталі у виливниці [2], а пізніше – японськими фахівцями для обробки сталі в ковші [3]. Сутність способу полягала в періодичному

вакуумному всмоктуванні металу і наступному виштовхуванні його через вогнетривкий металопровід, наприклад в порожнину ковша. В роботі [4] детально викладені теоретичні основи та практичні результати імпульсного перемішування розплаву в металургійному ковші. Процес імпульсного перемішування пов'язаний з утворенням в перемішуваному обсязі розплаву імпульсних затоплених струменів. При генеруванні імпульсних затоплених струменів в необмеженому просторі, затопленому однофазною рідиною, утворюються вихори, що переміщуються на великі відстані з великою швидкістю [5]. Крім того, в ході обробки на розплав накладаються коливання досить високої інтенсивності, що може призвести до розвитку кавітаційних ефектів [4]. Враховуючи специфіку металургійних процесів, реалізація методу імпульсного перемішування в металургії потребує нових теоретичних і практичних розробок. На думку більшості дослідників [3, 6...9], принципова схема цього методу обробки розплаву повинна включати в себе періодичне заповнення і витіснення металу з занурюваної в розплав вогнетривкої труби (рис. 1.1). Коливання рівня металу в трубі досягається шляхом певної зміни тиску газу в її внутрішній порожнині. При обробці рідкої фази злитків вогнетривку трубу розташовують у центральній частині надливу [2]. Слід зазначити, що в металургії газоімпульсна обробка успішно застосовується для перемішування сталі і чавуну в ковшах з метою кращого засвоєння легуючих елементів і розкислювачів [4].

Разом з тим, більш цікавим, на думку авторів [1], є використання газоімпульсного перемішування для удосконалення процесів затвердіння металевих сплавів. Інтерес обумовлений впливом перемішування при затвердінні злитків і неперервнолитих заготовок на ріст кристалів, подрібнення дендритів, перерозподіл розчинних елементів і зменшення зональної ліквідації сплавів. Газоімпульсна обробка, при дотриманні певних умов, підвищує якість литої структури і значно зменшує осьову пористість в заготовках [1].

Оцінити ефективність різних систем перемішування можна потужністю, яка визначається співвідношенням густин середовища ρ_{cp} і оброблюваного розплаву $\rho_{роз}$ [10]:

$$N = (a + v)RG(t_1 - t_2) \frac{\rho_{cp}}{\rho_{роз}}, \quad (1.1)$$

де G – масова витрата введеного середовища;

t_1 і t_2 – температури середовища і розплаву;

a і v – коефіцієнти витрат які вводяться при обробці струменя;

R – універсальна газова стала.

З наведеного рівняння випливає, що найбільш потужний режим перемішування може бути отриманий при співвідношенні $\rho_{cp} / \rho_{роз} \approx 1$. Цим умовам відповідає метод газоімпульсного перемішування розплаву.

Ефективність газоімпульсного перемішування сталі в процесі формування злитків і неперервнолитих заготовок висвітлена в роботі [11]. Газоімпульсне перемішування сталі в кристалізаторах для безперервного розливання слябів перетином 300 x 1850 здійснювали за допомогою спеціальної установки шляхом циклічного виштовхування стиснутим газом з порожнини зануреної вогнетривкої труби порцій рідкого металу. Дослідження макроструктури неперервнолитих слябів з вуглецевих і низьколегованих сталей показали наступні переваги газоімпульсної обробки:

а) збільшується ширина кіркової зони дрібних рівновісних кристалів, а зона стовпчастих дендритів при розливанні вуглецевих сталей зменшується на 40...50 мм, а низьколегованих на 20...30 мм, при цьому довжина осей дендритів зменшується на 10...35 мм;

б) принципово по-новому формується кристалічна структура осьової частини сляба: замість великих стовпчастих дендритів, характерних для звичайного сляба, розвиваються рівновісні дендрити глобулярної форми з довжиною осей дендритів в 5...20 разів меншою, ніж у звичайного металу;

в) знижується кількість дефектів макроструктури, осьова зона не має різко вираженої пухкості і великих пор, істотно збільшується щільність кристалічної структури;

г) ударна в'язкість листового прокату сталі збільшується на 10...20%.

Перемішування рідкої сталі сприяє інтенсифікації відводу теплоти перегріву, підвищенню температурного градієнта на кордоні фаз, більш інтенсивному утворенню центрів кристалізації і подрібненню кристалічної структури по всьому перетину неперервнолитої заготовки.

Перемішування металу в виливницях призводить до істотного подрібнення первинної та вторинної структур сталевих виливків, руйнування ліквацийних шнурів, підвищення щільності металу і зниження обсягу усадкової раковини, неметалеві включення набувають дрібну форму по всій висоті виливка [12].

Ефективність газоімпульсної обробки великих мас металу вивчали на листових злитках масою 20 т із сталей марок: сталь 3, сталь 5 та сталь 45 [13] і на ковальських злитках масою 34 т зі сталі 20ХН [12]. Отримані дані по кінетиці формування листового злитка свідчать про те, що при великих інтенсивностях перемішування можна уповільнити або навіть призупинити лінійну кристалізацію сталі, що забезпечить більш швидке відведення теплоти перегріву і настання періоду об'ємної кристалізації ядра злитка. Макроструктура звичайних злитків складається з відомих трьох зон: кіркової, стобвчастої і грубої рівновісної, а при газоімпульсному перемішуванні ці зони відсутні. Основна частина металу складається з дрібних, щільно розташованих дезорієнтованих дендритів, розміри яких в 4...5 разів менше, ніж у звичайного злитка. Значні переваги по хімічній неоднорідності були отримані при перемішуванні сталі протягом 90...120 хв. Шнури позацентральної ліквациї в злитку були слабо розвинені або зовсім відсутні. Неметалеві включення мали сприятливу глобулярну форму, більш високу дисперсність і рівномірно розподілені по всьому об'єму злитка.

При імпульсній обробці ковальських злитків відбувається подрібнення оксидних і сульфідних включень, що пов'язано з переміщенням великих включень в

піднадливну частину злитка [14]. Позитивний ефект у цій роботі отриманий відносно зміщення зони позацентрної ліквациї: початок утворення цієї зони збігається з положенням кордону затвердіння сталі в момент закінчення імпульсної обробки розплаву. Чим більша тривалість обробки, тим глибше розташовуються шнури позацентрної ліквациї, а їх протяжність і діаметр поперечного перерізу значно скорочуються.

Сучасні уявлення процесу масопереносу ліквациїних домішок у міждендритному просторі затвердіваючого злитка пов'язують з переміщенням лікватів до кордону затвердіння. Тому інтенсивність позацентрної хімічної неоднорідності залежить насамперед від швидкості руху лікватів в міждендритному просторі [1]. Якщо швидкість цього потоку більша швидкості просування кордону затвердіння, то він стікає по дендритному каркасу вниз і утворює шнури позацентрної ліквациї. Автори [15] вважають, усуненню ліквациїних дефектів може сприяти газоімпульсна обробка за рахунок організації вимушених конвективних потоків, при яких ліквати переміщувалися б вгору вздовж фронту кристалізації. При цьому бажано, щоб режим руху потоку вздовж кордону затвердіння мав ламінарний характер і не викликав значного гальмування швидкості кристалізації сталі.

У питанні ефективності газоімпульсної обробки важливу роль відіграє вибір раціональних параметрів перемішування, що викликають помірну турбулізацію розплаву і забезпечують ламінарне переміщення потоків стали уздовж кордону затвердіння. Занадто велика інтенсивність перемішування руйнує рідко-тверду зону кристалізації сталі і змиваючи ліквати з поверхні кристалів, переносить їх в ядро злитка [1]. Дослідження [16] показали, що зниження інтенсивності перемішування на заключній стадії затвердіння забезпечує усунення центральної ліквациї сталевих злитків. При цьому необхідно контролювати частоту власних і вимушених коливань в системі, час перемішування розплаву, перетин трубки і глибину її занурення в розплав. Власна частота коливання розплаву в системі «рідка фаза злитка – занурена трубка» за даними роботи [4] дорівнює:

$$\omega_{\text{вл}} = (g/h)^{0,5}, \quad (1.2)$$

де g – прискорення вільного падіння;

h – глибина занурення трубки в розплав.

Найбільш сприятливим перемішування виходить при вимушених коливаннях, рівних частоті власних коливань (резонансній частоті):

$$\omega = \omega_{вл} \quad (1.3)$$

Дослідження на прозорих фізичних моделях основних параметрів вимушеного перемішування рідкої фази у злитку імпульсним струменем [17] показали, що виникнення спрямованої турбулентності по осі злитка ліквідує вплив термогравітаційної конвекції, що сприяє утворенню шнурів позацентральної ліквідації. Основний вплив струмінь надає на характер просування фронту кристалізації у вертикальному напрямку, причому максимальне збільшення швидкості затвердіння досягається при рівності вимушеної резонансної частот коливання системи. Цьому ж сприяють два фактори: занурення трубки на глибину 0,6...0,7 від висоти рівня наливу і початок імпульсної обробки через 15...20 хвилин після початку кристалізації.

Одним з недоліків імпульсної обробки є нерівномірний розподіл газового потоку по перетину трубки з виштовхуваним металом. Ця нерівномірність сприяє викривленню меніска рідкого металу в трубці, що при тривалій роботі призводить до поступового заростання перерізу колони і порушення режиму імпульсної обробки [4]. Дослідженнями [18] встановлено, що безперервність потоку може бути легко усунена установкою в трубці однієї або двох решіток. Крім конструктивних рішень з цього питання важливим заходом є тепловий захист виштовханого стовпа металу з колони в злиток від охолодження. Одним з рішень є організація зворотного підйому (або засмоктування) стовпа металу до вогнетривкої трубки до точки нижче рівня металу в злитку [1].

Аналіз наведених робіт показує, що вплив газоімпульсної обробки на процеси кристалізації і структуроутворення чорних і кольорових металів вивчено на рівні тепло- і масообміну в затвердіваючих розплавах в діапазоні відносно низьких частот пульсацій (20...60 хв⁻¹) і великих амплітуд (300...500 мм). Тому інтерес представляє

вивчення впливу великих частот пульсацій ($200 \dots 800 \text{ хв}^{-1}$) при малих амплітудах на процес затвердіння сплавів з метою створення нових ефективних технологій при виробництві злитків і неперервнолитих заготовок.

Для досягнення гарантованого високого рівня фізико-механічних і технологічних властивостей конструкційних матеріалів все ширше використовуються динамічні методи впливу на рідкий і затвердіваючий метал, до яких, зокрема, відносяться віброімпульсні технології (низькочастотна вібрація, ультразвук, електрогідроімпульсна обробка).

1.3 Сучасні уявлення про віброімпульсну обробку розплавів при безперервному литті

Вібрація – це процес періодичного впливу на суцільне гетерогенне середовище пружними коливаннями, що викликають поширення в ньому ударних хвиль в визначеному напрямку. У процесі поширення цих хвиль, середовище і частинки які в ньому знаходяться, відчувають періодичне підвищення тиску і розрідження. Вони поширюються, як правило, в обмеженому просторі виливки або заготовки і завжди мають дві області: стиснення в пучностях хвилі, де амплітуда має максимальне значення, а швидкість руху дорівнює нулю, і розрідження у вузлах коливань, де швидкість переміщення має максимальне значення, а відхилення хвилі від середнього положення дорівнює нулю. Всі частинки, які потрапляють в хвильовий рух, виконують рівномірно прискорений коливальний рух з певною швидкістю навколо положення рівноваги [1].

Низькочастотна вібрація. Низькочастотна вібрація, характеризується частотою до 200 Гц і амплітудами, які в основному не перевищують 2...3 мм.

У ливарному виробництві вібрація успішно застосовується для виготовлення форм і стрижнів. У меншій мірі вона використовується для управління процесом кристалізації виливків, незважаючи на те, що вібрація розплаву під час його затвердіння у формі сприяє зменшенню газової та усадочною пористості, усуненню

гарячих тріщин у виливках і викликає суттєве подрібнення зерна в литих металах і сплавах.

Віброімпульсна обробка металу в процесі затвердіння злитків і виливків відома давно. Ще в 1868 році Д.Чернов запропонував застосовувати динамічні дії (струси) на процес затвердіння сталі у виливниці з метою поліпшення внутрішньої будови злитка [19]. Спроба практичного використання вібрації була здійснена на початку ХХ століття [20].

Цими дослідженнями було встановлено, що струшування виливниці з частотою 0,2...1,5 Гц і амплітудою 15...20 мм полегшує дегазацію сталі, сприяє більш рівномірному розподілу сульфідів, підвищує щільність і механічні властивості литої сталі. Проте в роботі [21], при струшуванні злитків вуглецевої сталі масою 3 тони були отримані негативні результати, що зменшило інтерес металургів до робіт у цьому напрямку.

Тим не менш, роботи в цьому напрямку були продовжені, але струшування виливниць замінили вібрацією за рахунок підвищення частоти і зниження амплітуди струшування до 0,2...1,5 мм. Надалі вібрацію почали застосовувати в ливарному виробництві.

Вібрування ливарних форм з використанням для цього вібростолів (рис. 1.2а) представляє значний практичний інтерес, оскільки дозволяє обробляти декілька злитків або виливків одночасно [22]. Однак інтенсивність обробки в цьому випадку обмежується міцністю ливарних форм і стійкістю виливниць на вібростолах. У ряді випадків (рис. 1.2 б, в) вібрація вводиться безпосередньо в розплав спеціальним віброінструментом [23]. При неперервному литті вібрація прикладається до кристалізатора і безпосередньо до заготовки в зоні вторинного охолодження (рис. 1.3 а), або вводиться безпосередньо в розплав в кристалізаторі за допомогою віброінструмента (рис.1.3 б) [24, 25].

У МВТУ ім. Баумана розроблений спосіб короткочасної обробки розплаву через віброуючу воронку або жолоб; форма в цьому випадку залишається в спокої.

Аналогічна схема заливки через ті ж віброуючі пристрої використовується при неперервному литті [23].

Для створення вібрації застосовуються пневматичні, механічні та електромагнітні вібратори. Пневматичні (поршневі) вібратори при номінальному тиску повітря забезпечують частоту не вище 50...60 Гц. Механічні вібратори вельми різноманітні по конструкції. При вібрації виливків і злитків застосовуються вібратори ексцентрикового типу. Такі вібратори забезпечують плавне регулювання частоти в широких межах (найчастіше 50...150 Гц). Електромагнітні вібратори найбільш прості в експлуатації і забезпечують частоту 50...200 Гц.

До теперішнього часу отримані достовірні відомості про позитивний вплив вібрації на подрібнення кристалічної структури, скорочене або повне усунення зони транскристалізації за рахунок зростання рівновісних кристалів, зниження зональної і дендритної неоднорідності, підвищенні механічних і спеціальних властивостей металів і сплавів [26, 30]. Тим не менш, у ряді робіт [28, 29] заперечується позитивний вплив цього методу впливу. Однозначність думки з цього питання скрутна у зв'язку з тим, що в роботах варіюються способи накладення вібрації, параметри, хімічний склад і маса оброблюваного металу, а також різне тлумачення дослідниками явищ і процесів затвердіння в металі. Тому практичні висновки та рекомендації часто не узгоджуються між собою.

Оскільки вплив вібрації на затвердіваючий розплав в кінцевому рахунку виражається в подрібненні зерна в литій заготовці, то цей ефект, на думку [23], можна пов'язати тільки зі збільшенням під впливом вібрації числа центрів кристалізації в розплаві який кристалізується. Очевидно, що розбіжності у згаданих дослідженнях зводилися до з'ясування причин збільшення центрів кристалізації і тлумачення можливого механізму дії вібрації на затвердіваючий розплав. Ці розбіжності зводяться, загалом, до двох точок зору:

- 1) збільшення числа центрів кристалізації в розплаві досягається за рахунок механічного руйнування фронту кристалізації і руйнування дендритних осей під дією пружних сил і явища кавітації [30,31];

2) збільшення швидкості зародження центрів кристалізації під дією періодичного хвильового тиску та розрідження, і за рахунок зменшення в'язкості і поверхневого натягу розплаву при вібраційному впливі, а також виникнення зародків твердої фази за рахунок сил в'язкого тертя розплаву який вібує зі зростаючими кристалами.

Згідно [28], вібрування розплаву викликає в ньому локальне збільшення тиску, що підвищує переохолодження перед фронтом кристалізації, отже призводить до збільшення швидкості зародження центрів кристалізації.

Цікаво, на думку А. Оно [32], який вважає, що головними факторами, що сприяють подрібненню кристалічної структури при вібраційному впливі, є: підвищення інтенсивності контактного теплообміну за рахунок поліпшення умов змочуваності поверхні форми і полегшення процесу відділення кристалів.

Дослідження формування кристалічних структур модельних і сталевих злитків [33,34] показали, що вібраційна обробка сталі і сплавів є, по суті, введення в розплав додаткової енергії пружних хвиль. Так як вплив вібрації на затвердіння металів і сплавів заснований на передачі енергії від джерела поля в рідкий розплав, то цілком резонно, на думку [35], до опису таких процесів застосувати методи термодинаміки. В роботі [36] енергія зовнішнього впливу формалізована в вигляді термодинамічної функції вільної енергії Гіббса (Ge), що забезпечує реальну кристалізацію розплаву:

$$Ge = 4\pi\sigma_{p-T}^2 T_o (r_p - r_n) / (L\Delta t), \quad (1.4)$$

де σ_{p-T} – міжфазова енергія на межі розділу рідкої і твердої фаз;

Δt – температура кристалізації і переохолодження;

r_p і r_n – критичні рівноважний і нерівноважний радіуси сферичного зародка твердої фази;

L – теплота кристалізації.

Оскільки зовнішня енергія сприяє переохолодженню розплаву, то в результаті зменшується величина критичного розміру зародків твердої фази, здатних до подальшого зростання, змінюються інші параметри кристалізації, диспергується структура литого металу. Це показано в роботах [37, 38].

Витрата енергії зовнішнього впливу пропорційна різниці розмірів рівноважного і нерівноважного зародків твердої фази, тобто залежить від стадії кристалізації. Слід зазначити сильну залежність витрати зовнішньої енергії від ентропії плавлення $S_{пл}$, яка характеризує ступінь безладдя системи при зовнішньому впливі на кристалізацію, тобто зміну рухливості частинок під впливом зовнішньої енергії при формуванні різних структур кристалічних ґраток металів [35]. Це дало підставу авторам [35] з позицій термодинаміки висунути гіпотезу про механізм впливу енергії зовнішніх впливів на металевий розплав: при формуванні кластерних (упорядкованих) структур розплаву, а потім, при утворенні і зростанні з них зародків в процесі обробки системи зовнішнім впливом, витрата енергії ззовні зростає для більш щільно запакованих структур, які характеризуються типами кристалічних решіток металів.

До числа найбільш важливих параметрів, що впливають на кристалізацію сплавів, відносять частоту і амплітуду коливань, що визначають розподіл діючих сил, інтенсивність перемішування розплаву, інтервал кристалізації, температурний градієнт, в'язкість металу перед кордоном затвердіння [39]. Ці параметри сприяють подрібненню первинного зерна, рівномірному розподілу неметалевих включень, підвищенню якості і механічних властивостей виливків і злитків [40, 41].

У застосовуваних практично частотах і амплітудах низькочастотної вібрації необхідний час для повного перемішування оброблюваного обсягу розплаву (1 дм³) складає 5 ... 30 хв. Це свідчить про незначні швидкості руху всього обсягу розплаву. Однак швидкості переміщення мікрооб'ємів рідини вздовж фронту кристалізації можуть бути досить високими. Ці переміщення впливають на гідродинамічні процеси навколо зростаючих дендритів які виділилися на кордоні затвердіння лікватів [39].

Найбільший вплив на подрібнення кристалічної структури заготовок спричиняє тип застосовуваної вібрації. При обробці металевих розплавів застосовують в основному три типи вібрації: з орієнтацією амплітуди у вертикальній або горизонтальній площинах і переміщенням хвилі з круговою амплітудою в

горизонтальній площині. За даними різних дослідників найбільш ефективною для подрібнення структури є вібрація з круговою амплітудою в горизонтальній площині [42]. За даними Тидзиви, Хатамури и Хояси, цей тип вібрації має такі переваги:

- можливість застосування кристалізаторів різних розмірів;
- у міру збільшення частоти вібрації (0 ... 100 Гц) збільшується число рівновісних кристалів і зменшується число стовпчастих; такий же ефект досягається у міру збільшення амплітуди вібрації (0 ... 0,5 мм), при цьому товщина і розміри зерен зі збільшенням амплітуди зменшуються;
- кристалічна структура після пластичної обробки віброуючої в процесі затвердіння заготовок як в поздовжній, так і в поперечній площинах подрібнюється, що сприяє їх гомогенізації.

Чисельні дослідження ефективності застосування вібрації в металургії довели позитивний вплив її на подрібнення кристалічної структури, зниження зональної неоднорідності і ущільнення злитків, виливків і неперервнолитих заготовок [21, 43]. Однак за методами підводу віброімпульса і вибору оптимального місця встановлення вібраторів робіт відносно мало.

При вирішенні проблеми вибору оптимальних параметрів віброобробки слід враховувати основні принципи впливу низькочастотних хвиль на затвердіваючий метал [45]:

1) при розподілі хвиль в горизонтальному напрямку від бічних імпульсів або від хвилеводу головні сили і прискорення впливають у вертикальному напрямку, викликаючи переміщення неметалічних включень до відкритої поверхні металу і опускання плаваючих кристалів і центрів кристалізації в донну частину зливка, скорочення глибини лунки рідкого металу;

2) вертикальний напрямок стоячої хвилі сприяє переміщенню центрів кристалізації до бічної поверхні зливка, а неметалічних включень – вглиб затвердіваючого обсягу металу;

3) при круговій вібрації в горизонтальному напрямку відцентрова сила переміщує центри кристалізації до кордону затвердіння, а доцентрова сила зрушує

неметалеві включення, ліквати і легкоплавкі домішки у напрямку до осі злитка; дотичний напрямок швидкісного потоку по відношенню до кордону затвердіння сприяє обламування вершин зростаючих дендритів;

4) кільцева хвиля яка рухається забезпечує рівномірну обробку по всьому перетину злитка.

Вібраційний імпульс здійснює збудження хвиль тільки в одному напрямку і забезпечує роботу в режимі стоячої хвилі [44]. Для обробки великих робочих поверхонь циліндричної або еліптичної форм автори роботи [46] пропонують застосовувати кільцеві коливальні системи, що працюють в режимі хвилі яка рухається.

Більшість дефектів виливків утворюється і розвивається в температурному інтервалі кристалізації металу. Вібраційне лиття, точніше, лиття з об'ємною вібрацією (ЛОВ) протидіє цим явищам в результаті механічної дії на процес формування макро- і мікроструктури і застосовується для заливки будь-яких ливарних форм різними металами. В роботі [25] зазначається, що лиття в віброуючі ливарні форми поєднує методи лиття під тиском і вакуумне розливання з одночасним зменшенням в'язкості металу.

Незважаючи на високу ефективність вібрації, метод поки не знайшов широкого практичного застосування, і відповідна технологія не була розроблена, що можна пояснити, на думку [47], відсутністю надійного устаткування зі стабільними робочими характеристиками. Використовувані вібростанки мають недосконалу конструкцію з робочою платформою (РП), яка коливається в одній площині, зазвичай вертикальною. Така РП створює розсіювання характеристик вібрації і відхилення їх залежно від величини навантаження.

Для реалізації технології ЛОВ в 1997р був розроблений вібростанок нової конструкції для широкого застосування в ливарному виробництві. Кінематика верстата забезпечує процес колювання, стабільні характеристики вібрації в заданому режимі роботи, незалежно від навантаження на робочу платформу, яка робить

коливання одночасно в двох взаємно перпендикулярних площинах – вертикальній і горизонтальній [47].

Для поліпшення якості злитків часто застосовують почерговий вплив пружних коливань у вертикальному та горизонтальному напрямках. Численні рекомендації по режимах віброобробки викликані різноманітною дією цього виду обробки на рідкий метал. Найбільш повне узагальнення результатів з подрібнення дендритних структур різних сплавів зроблено в роботі [43]. Критичний поріг вібрації при обробці залізобуглецевих і кольорових сплавів визначається, за даними [43], як добуток: $\omega \cdot A$ (ω – частота, A – амплітуда коливань). Встановлено, що для всіх досліджуваних систем подрібнення структури на 50% відбувається при $\omega \cdot A \sim 2 \cdot 10 \dots 2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Підвищення енергії імпульсу, частоти і амплітуди коливань доцільно тільки до певної межі. За даними [48], ця межа при бічній вібрації становить $15 \dots 20 \text{ Дж} / \text{с} \cdot \text{кг}$, а при дії через хвилевід енергія імпульсу не перевищує $10 \dots 75 \text{ Дж} / \text{с} \cdot \text{кг}$. Подальше збільшення зазначених потужностей енергетично не вигідно. Оптимальною амплітудою коливань при подачі імпульсу через кристалізатор вважають $0,2 \dots 0,26 \text{ мм}$.

У роботах [49] вивчали вплив вертикальних і горизонтальних кругових коливань на структуру і властивості сталевих злитків масою 1 і 2 т. Ексцентрикова пара вібратора, привареного збоку виливниці, дозволяла змінювати напрямок повороту навколо осі циліндричного злитка з певною амплітудою і частотою. Порівняльні дослідження металу показали велику ефективність впливу на високовуглецеву сталь горизонтальної кругової вібрації. При цьому найкращою точкою докладання горизонтальної кругової вібрації є точка, відповідна рівню поверхні розплаву в виливниці. На думку автора [42], великий ефект досягається за рахунок двох обставин:

- 1) максимум енергії пружних коливань припадає на рівень вільної поверхні розплаву, де спостерігається найбільша інтенсивність утворення зародків;
- 2) такі коливання забезпечують більш ефективне підживлення зародками нижніх частин злитка при кристалізації.

Силовий вплив на розплав при накладенні вертикальної, горизонтальної та горизонтально-кругової хвилі викликає принципово різний розподіл діючих сил [39]. Тому вибір ефективних методів вібраційного впливу на метал під час кристалізації повинен виходити з переслідваних цілей обробки розплаву.

Поряд з подрібненням кристалічної структури, переваги віброобробки полягають в тому, що питома витрата енергії на її застосування в кілька разів менше, ніж при використанні ультразвуку та електромагнітному перемішуванні розплаву [48].

Ефективність низькочастотної вібраційної обробки неперервнолитих заготовок також підтверджена багатьма дослідниками, узагальнення результатів досліджень яких показує, що найбільш характерними перевагами вібраційної обробки сплавів на МНЛЗ є [9]:

1) підвищення інтенсивності теплових потоків від вібруючих перегрітих внутрішніх обсягів сплаву до кордону кристалізації і зниження загальної тривалості затвердіння заготовок на 20...25%;

2) зниження розмірів первинних дендритів приблизно в 2 рази і скорочення зони стовпчастих дендритів;

3) руйнування кордону затвердіння і дроблення дендритів сприяє збільшенню частки кристалів, що осідають в донну частину заготовок, і скороченню глибини лунки рідкого металу в 2 рази;

4) більш рівномірний розподіл сірки по перетину заготовок і зниження протяжності зони V- подібної ліквациї;

5) скорочення протяжності лунки рідкого металу забезпечує усунення усадкових і ліквацийних процесів, що створює всі умови для отримання щільної макроструктури заготовок;

6) усунення підусадкової пухкості в головній частині заготовок сприяє підвищенню виходу придатного прокату із сталі приблизно на 4%.

Експериментальні дані [50] показують, що вібрація стінок кристалізатора з частотою 50 Гц і амплітудою 0,2 мм призводить до підвищення інтенсивності

тепловіддачі від розплаву до кордону кристалізації на 20...35%. Вібраційна обробка неперервнолитого сляба товщиною 180 мм із сталі 50 при поперечній вібрації кристалізатора збільшила щільність теплового потоку в 1,5...2 рази. При однаковій потужності приводів найбільший вплив на теплообмін надає частота вібрації, яка визначає швидкість внутрішнього коливання розплаву вздовж кордону затвердіння.

Автори [9] вважають, що причиною збільшення інтенсивності теплового потоку від розплаву при вібрації є не тільки змивання ліквідаційних, оксидних і газових проявів з поверхні зростаючого кристала, але і значне зниження термічного опору на ділянці поверхні заготовки – стінка кристалізатора. Домінуючу роль в теплопередачі грає потужність імпульсу, переданого розплаву. При застосуванні потужних електрогідроімпульсній вібраторів, крім зазначеного впливу на кордон затвердіння, можуть виникати умови для активізації нерозчинних домішок в поле розвиненої кавітації. При накладенні вібрації на метал через хвилевід до зазначених термічних опор додається акустичний опір, що зменшує ефективність його впливу на теплообмін.

В роботі [51] на фізичних і механічних моделях вивчали вплив вібрації на теплопередачу від розплаву в лунці до охолоджувального середовища зони вторинного охолодження. Обробка результатів дослідження показала, що режим гравітаційного руху в зоні вторинного охолодження призводить до інтенсифікації теплообміну, описуваного рівнянням: $Nu = 0,74 \sqrt{0,53Pe \pm 0,01Ra^{2/3}}$. Знаки перед числом Ra вказують на збіг (плюс) і розбіжність (мінус) напрямку руху потоків вимушеної (від вібрації) і вільної конвекції розплаву (Pe , Ra , Nu – критерії Пекле, Ралея, Нуссельта).

Зміна інтенсивності тепловідводу від розплаву тягне за собою зміну темпу виділення прихованої теплоти кристалізації і геометричних параметрів двофазної зони. Вивчення кінетики затвердіння неперервнолитого злитка розміром 220 x 280 мм на фізичній моделі показало, що застосування вібрації призводить до скорочення зони двофазного стану в місці бічного впливу на кристалізатор на 10...20% і розширенню її на 25...30% в донній частині рідкої лунки. Тривалість перебування

розплаву в двофазному стані скорочується на 15...20% [52]. При обробці великих листових і сортових заготовок відзначено стабільне скорочення зони транскристалізації, подрібнення первинних кристалів, зниження фізичної і хімічної неоднорідності. При застосуванні цієї обробки на неперервнолитих заготовках перетином 150x1000 мм, що відливаються в ребристий кристалізатор зі сталі марок ст. 3, 35, було отримано підвищення щільності дендритної структури до 30%, зниження бала по осьовій ліквациї в 1,8 рази, зменшення кількості ділянок, уражених шнуровою ліквациєю, більш рівномірний розподіл ліквацийних елементів і неметалевих включень по довжині заготовки і в її проміжній осьовій зоні [53]. Збільшення частоти та енергії імпульсів поряд з подальшим подрібненням структури призводить до появи ліквацийних смуг на глибині 40...60 мм від поверхні сляба. Аналогічні результати були отримані при обробці неперервнолитих сортових заготовок розміром 220 x 280 мм.

Для поліпшення якості неперервнолитої заготовки в останні роки створено ряд нових способів вібраційної обробки металу. У роботах [54, 55] наведені конструкція і аналіз кінематичної схеми установки з трьома ступенями свободи вібраційного впливу на слябову заготовку. Вона дозволяє порушувати пружні хвилі у вертикальному, горизонтальному і тангенціальному напрямках одночасно або роздільно. Автор роботи [56] створив новий метод вібрації, який синхронно поєднує вплив на кристалізатор пружних хвиль, що поширюються в горизонтальному і вертикальному напрямках. Для поліпшення якості поверхні слябів з нержавіючої сталі товщиною 5...12,5 мм і шириною 85...130 мм автори роботи [57] використовували установку з додатковими імпульсами в 4-х точках. Ця установка дозволяє змінити амплітуду в межах 0...10 мм і частоту 50...350 циклів в хвилину і має можливість вібрувати кристалізатор в 5...6 напрямках. Для передачі імпульсів у зазначених напрямках використовуються три блоки систем автоматичного управління, що охоплюють кристалізатор з 3-х сторін. Вони, залежно від програми віброобробки, можуть передавати імпульси з боку широких або вузьких граней заготовки перпендикулярно напрямку розливання сталі. При підключенні одночасно

трьох систем управління можна забезпечити, при певних режимах їх роботи, передачу вібраційного імпульсу для обертання навколо горизонтальної осі і отримання кругової вібрації навколо вертикальної осі.

1.4 Узагальнення результатів літературного огляду

Узагальнення результатів аналізу наявних у літературі даних щодо впливу на якість злитків, заготовок та виливків газоімпульсного і віброімпульсного впливу, виконане авторами [58], наведено в табл. 1.1.

Типи розглянутих дефектів:

1 – усадкова раковина; 2 – полосатість; 3 – підусадкова ліквация; 4 – позacentрова ліквация; 5 – осьова ліквация; 6 – конус негативною ліквациєю; 7 – неоднорідність кристалічної структури; 8 – газова пористість; 9 – підвищення щільності; 10 – подрібнення первинного зерна.

Таблиця 1.1 – Вплив газоімпульсного і віброімпульсного впливу на зниження дефектів і якість злитків, заготовок та виливків

Метод дії	Тип дефекту									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Газоімпульсне перемішування	++	+	+	+	+	+	+	+	++	+
Вібраційна обробка	++	+	+	*	*	-	-	++	+	++
Обробка ультразвуком	нд	*	нд	*	*	-	+	++	++	++
Електрогідроімпульсна обробка	+	-	*	*	*	-	+	+	++	++
Обробка стержнями які коливаються	+	*	+	*	*	-	+	нд	++	++

Примітки: «++» – надає значний позитивний вплив; «+» – робить позитивний вплив; «*» – не має значного впливу; «-» – чинить негативний вплив; «нд» – немає даних.

Як видно з наведених даних, кожен з перерахованих методів характеризується сукупністю позитивних ефектів і деяких негативних проявів. Найбільш висока ефективність динамічних дій досягається в разі накладення на розплав вібраційних імпульсів в сукупності з регламентованим примусовим перемішуванням. На практиці оптимальний режим впливу визначається низкою факторів: метою обробки, масою і сортаментом заготовки, маркою сталі, ефективністю та економічністю методу, технологічною можливістю дослідження та ін.

Аналіз сучасних уявлень про характер впливу зовнішніх дій на сплави які кристалізуються показує, що вони відіграють важливу роль у формуванні типу кристалічної структури та її дисперсності, а також у розвитку процесу ліквідації в злитках, виливках і неперервнолитих заготовках. Разом з тим, незважаючи на велику кількість досліджень в області теорії формування металургійних заготовок багато чого ще не ясно щодо механізму формування двофазної зони і протікаючих в ній процесів в умовах зовнішніх впливів. Це пояснюється розбіжністю одержуваних результатів і часто недостатньою глибиною досліджень механізмів процесів зовнішніх впливів на рідкий і затвердіваючий метал і режимів цього впливу.

Застосування в металургії обробки рідкого та затвердіваючого металу пружними коливаннями, регульованим тиском і т.д. вимагає створення загальної теорії зовнішніх впливів на процес кристалізації металів. У цьому зв'язку дуже важливо провести систематизовані порівняльні дослідження по вивченню впливу на процеси кристалізації і структуроутворення металів і сплавів, різних методів у широкому діапазоні параметрів теплової та динамічної обробки затвердіваючих розплавів. Це дозволить отримати однозначні результати при застосуванні вже розроблених методів зовнішніх впливів, а також розробляти і застосовувати на практиці нові методи зовнішніх впливів.

1.5 Постановка задач дослідження

Проаналізувавши результати і проблематику роботи попередніх років, встановлюємо наступні задачі дослідження:

1) Дослідити вплив зміни частоти і амплітуди вібрації при віброімпульсній обробці розплаву на формування мікроструктури неперервнолитої заготовки.

2) Дослідити вплив зміни частоти і висоти підйому металу в трубці при газоімпульсній обробці розплаву на формування мікроструктури неперервнолитої заготовки.

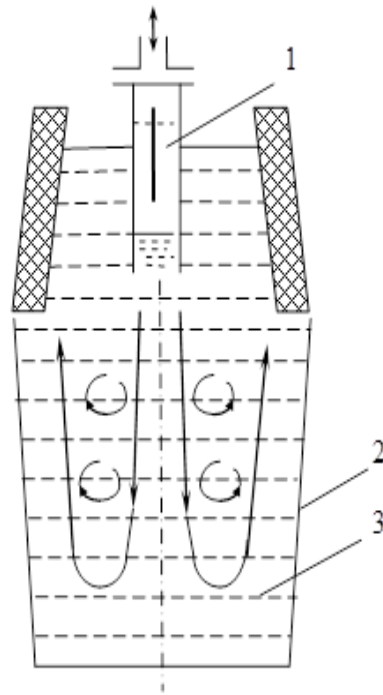
3) Дослідити вплив віброімпульсної та газоімпульсної обробки рідкого металу на майбутні властивості неперервнолитої заготовки.

4) Розробити оптимальний режим віброімпульсної обробки рідкого металу для отримання заготовок з високими властивостями та дисперсною структурою.

5) Розробити оптимальний режим газоімпульсної обробки рідкого металу для отримання заготовок з високими властивостями та дисперсною структурою.

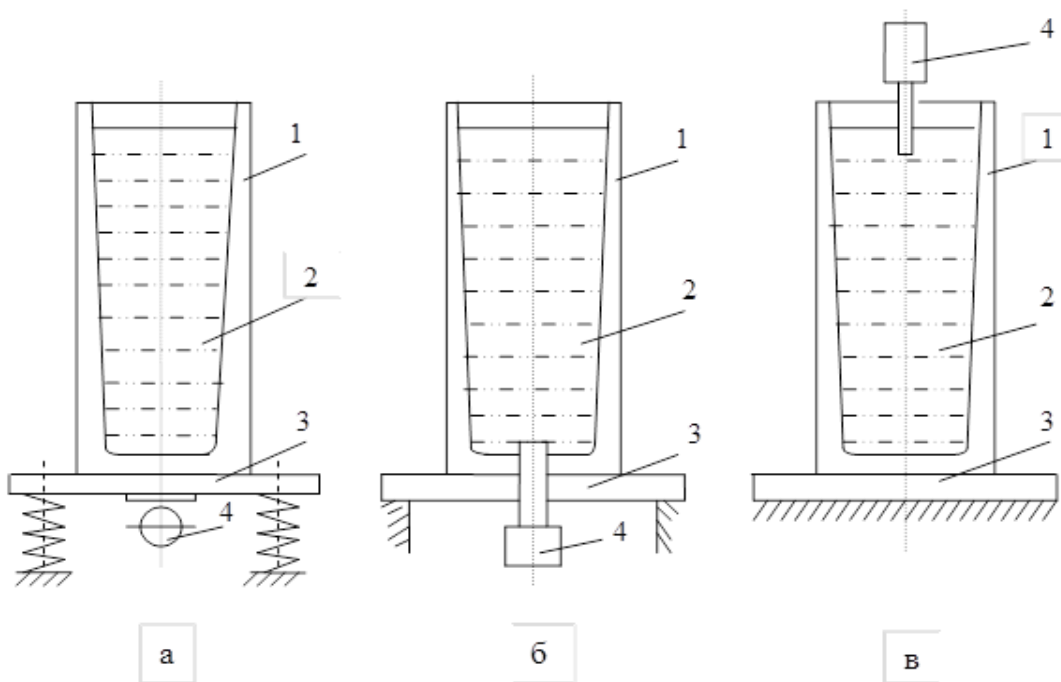
6) Побудувати графічні залежності отриманих даних виходячи з результатів проведеної роботи.

7) Зробити висновки.



1 – вогнетривка трубка; 2 – виливниця; 3 – розплав.

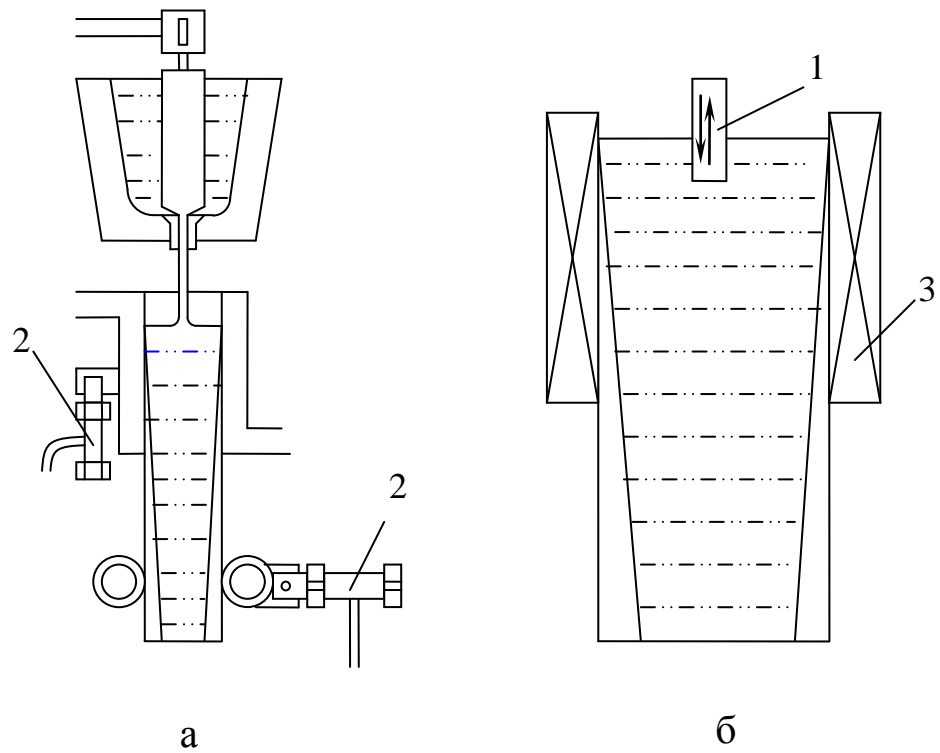
Рисунок 1.1 – Схема газоімпульсного впливу на розплав



1 – форма (виливниця); 2 – розплав; 3 – плита; 4 – вібратор;

а – вібростіл; б – введення вібрації інструментом через дно форми; в – введення вібрації інструментом через верх форми

Рисунок 1.2 – Схема вібрування розплаву в формі



- 1 – віброінструмент; 2 – вібратор; 3 – кристалізатор;
 а – підвід віброімпульсу до кристалізатора і заготовки;
 б – підвід віброімпульсу до рідкої лунки.

Рисунок 1.3 – Схема підведення віброімпульсу при неперервному литті

2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

2.1 Методика проведення експерименту

В якості моделювальної рідини був використаний органічний розчин – комфен. Цей розчин є найбільш підходящим і дає повну картину кристалізації.

Розчин комфену нагрівається до температури плавлення ($T_{пл} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$). При кімнатній температурі розчин кристалічний. Після розплавлення комфену нагрівач, який працює від електромережі, вимикається і вмикається вакуумний насос. За допомогою насоса, який під'єднаний до трубопроводу, розчин затягується в трубку на деяку висоту і випускається назад, завдяки чому в об'ємі виникають імпульсні коливання (кільцеві вихри), рис 2.1. Утворені імпульси сприяють руйнуванню великих стовбчастих кристалів які ростуть від стінок до центру. Це призводить до обламування дендритів і осідання їх на дно рідкої лунки, що в свою чергу призводить до подрібнення кристалічної структури розчину, збільшенню центрів кристалізації, збільшенню зони рівновісних кристалів, рис 2.2.

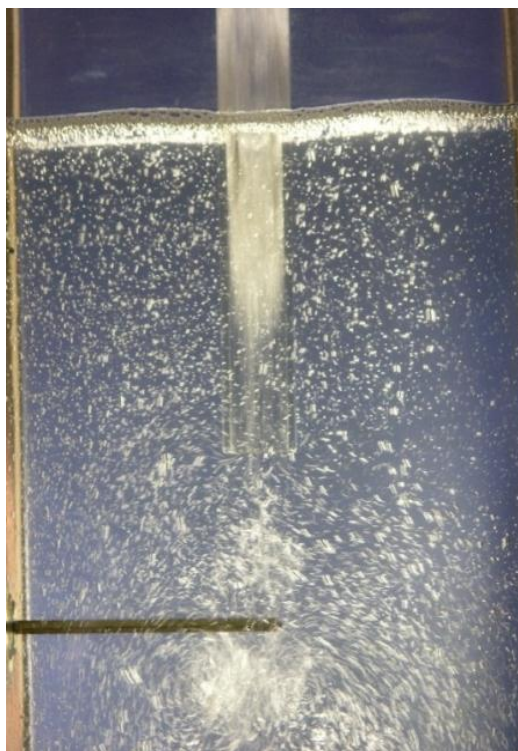


Рисунок 2.1 – Розвиток кільцевих вихрів при газоімпульсному перемішуванні розчину комфену

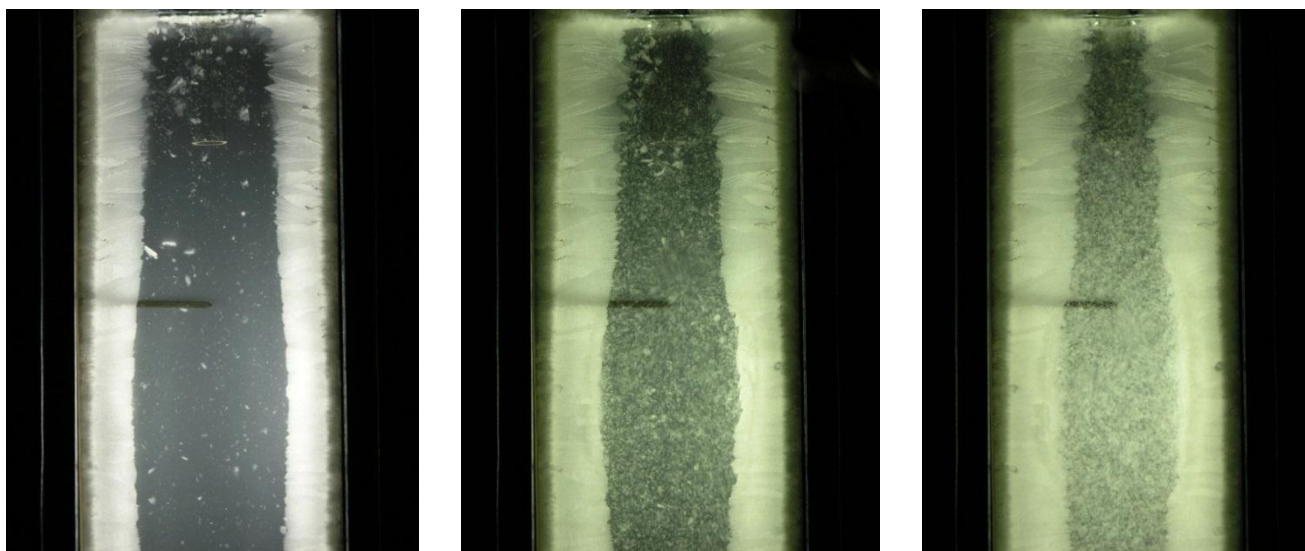


Рисунок 2.2 – Дія кільцевих вихрів на ріст кристалів при формуванні безперервнолитої заготовки

Під час проведення експерименту за допомогою термопар які встановлені по всій висоті фізичної моделі заміряється температура поверхні зразка, а також вимірюється товщина твердої кірки, для подальшого оцінювання результатів обробки і формулювання висновків, щодо використання даного способу обробки металу на виробництві.

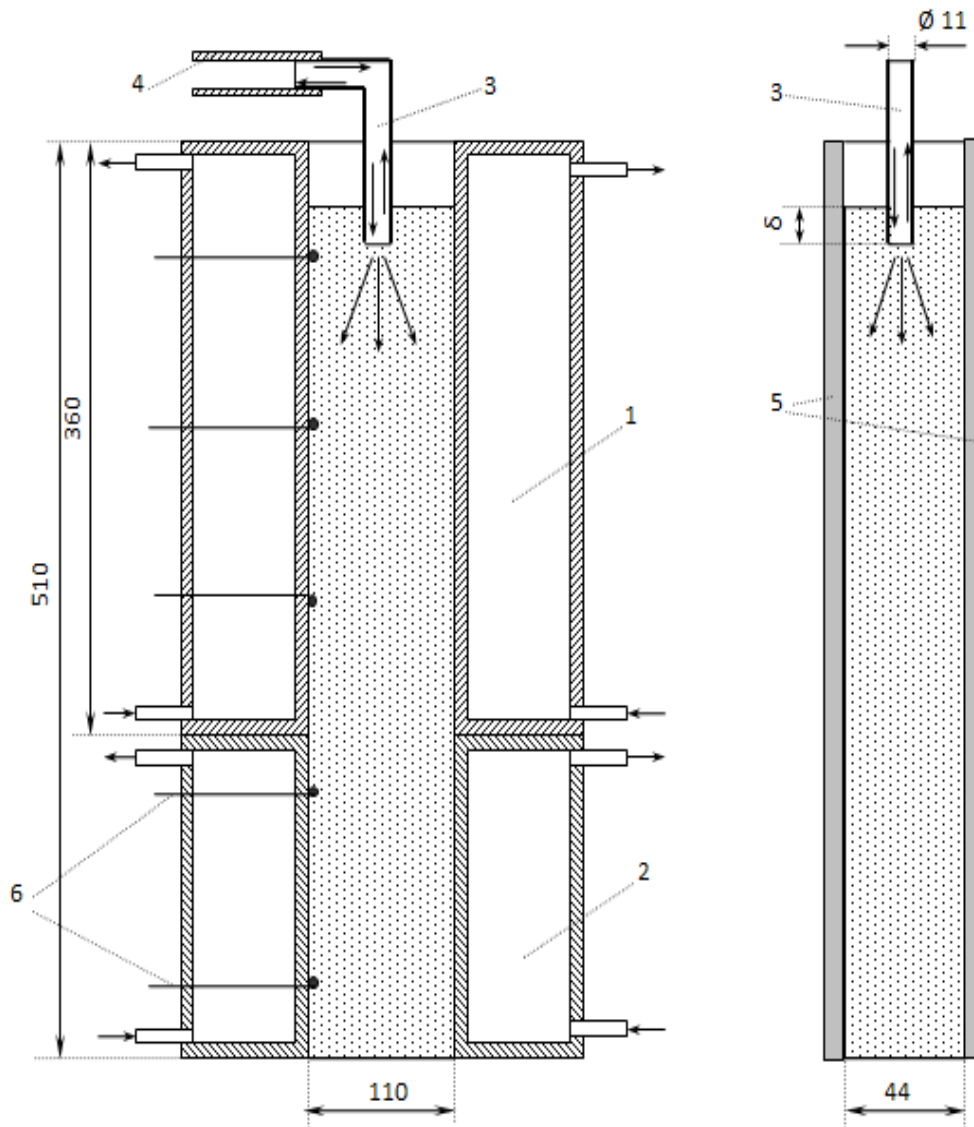
2.2 Принцип роботи пристрою

Враховуючи те, що проведення експериментів на реальних об'єктах є дуже дорогим, ми в своїх дослідженнях використовуємо метод фізичного моделювання.

Для дослідження впливу газоімпульсного перемішування на процес формування структури безервнолитої заготовки, була використана фізична модель, схема якої показана на рисунку 2.3. Дана установка імітує кристалізатор МБЛЗ.

Після розплавлення органічного розчину комфену, електричні нагрівачі вимикаються і вмикається вакуумний насос який живиться від електро мережі. Принцип дія насосу полягає в тому щоб з заданою циклічною частотою всмоктувати невеликий об'єм органічного розчину і виштовхувати його назад. Вакуумний насос

працюю впродовж всього часу кристалізації. Термопари які встановлені по всій висоті моделі фіксують температуру в певний момент часу. Фізична модель має прозорі грані, що дозволяє спостерігати за процесом кристалізації та вимірювати товщину затверділого шару біля бокових стінок моделі. Бокові стінки фізичної моделі інтенсивно охолоджуються водою, що максимально наближає процес кристалізації до кристалізації в умовах реального виробництва.



1 – кристалізатор; 2 – зона вторинного охолодження; 3 – занурена трубка;
4 – гнучкий трубопровід; 5 – прозорі грані; 6 – термопари.

Рисунок 2.3 Плоска фізична модель кристалізатора МБЛЗ

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Було проведено ряд експериментів з вимірювання залежності товщини затвердіваючого шару (кірки) від частоти коливань та глибини занурення трубки в розчин.

При проведенні експериментів використовували наступні частоти:

– 1 Гц, 3 Гц та 5 Гц.

Також одна серія дослідів була проведена без використання імпульсної обробки для порівняння результатів.

При проведенні експериментів використовували наступні глибини занурення трубки в розплав: 25 мм, 55 мм та 75 мм.

Результати експериментів представлені у вигляді відповідних графічних залежностей, рис. 3.1, рис. 3.2, рис. 3.3.

Значення періоду впливу пульсації на кордон затвердіння і товщини затверділого шару дозволило визначити вплив потужності перемішування на швидкість кристалізації компону.

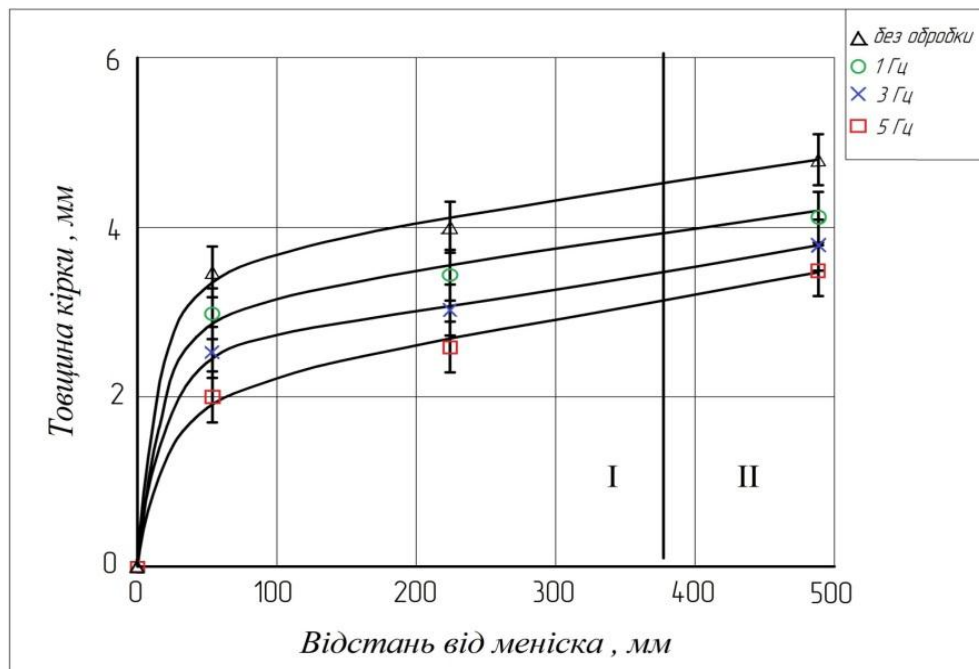


Рисунок 3.1 – Вплив частоти пульсації на зміну товщини затверділого шару при газоімпульсному перемішування

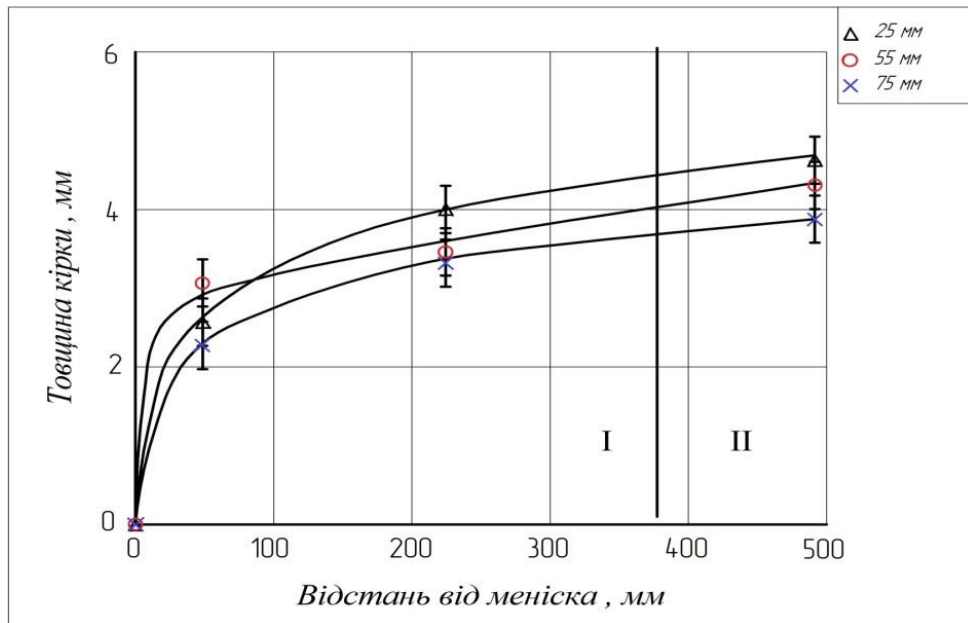


Рисунок 3.3 – Вплив глибини занурення трубки в розплав на зміну товщини затверділого шару при газоімпульсному перемішування

Зворотно-поступальний рух ядра заготовки пульсуючим струменем сприяло інтенсифікації тепловідведення від більш гарячих обсягів розплаву до кордону затвердіння, про що свідчить підвищення температури поверхні заготовки і зниження швидкості наростання кірки.

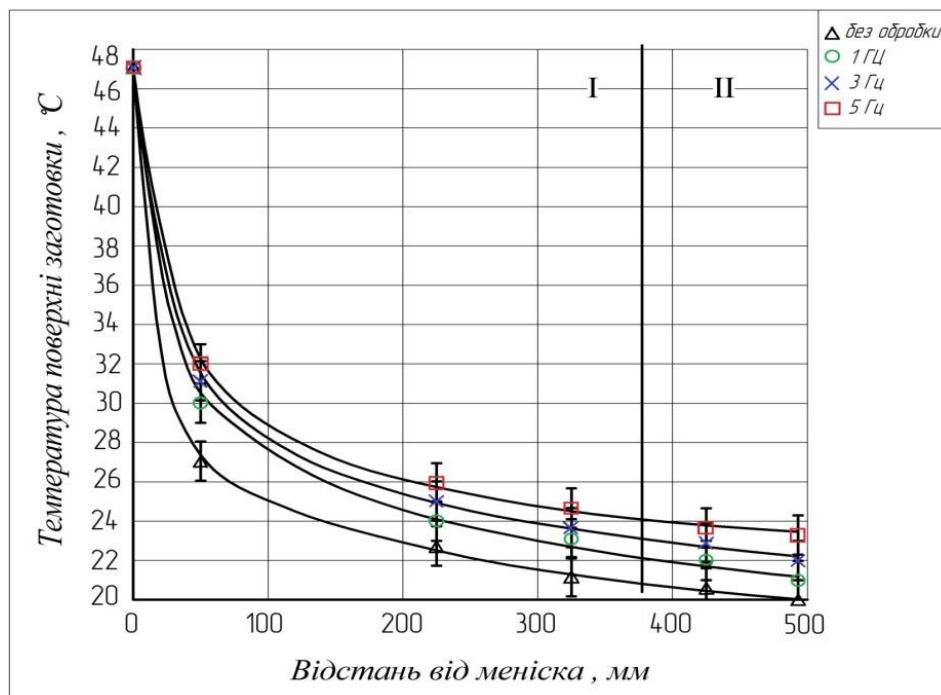


Рисунок 3.2 – Вплив частоти пульсації на температуру поверхні заготовки комфену

Цілком очевидно, що турбулентні потоки вздовж кордону затвердіння збільшували передачу теплоти від ядра заготовки до кордону затвердіння і впливали, тим самим, на швидкість кристалізації компона. Чим інтенсивніше перемішування (вище частота пульсації) розплаву і більша глибина занурення трубки, тим сильніше його вплив на закон зміни товщини затверділого шару.

Характерно, що інтенсивне зниження температури поверхні тверднучої заготовки і велика швидкість наростання кірки відзначені у верхній частині кристалізатора. Це пов'язано з інтенсивною віддачею тепла перегріву розплаву до стінок кристалізатора.

4 ПЕДАГОГІЧНА ПРАКТИКА

Під час проходження педагогічної практики був ознайомлений із структурою та систематизацією навчальних і робочих планів навчального процесу.

Навчальний план є нормативним документом навчального закладу, який визначає зміст навчання та регламентує організацію навчального процесу зі спеціальності (спеціалізації). Навчальні плани складаються окремо для кожного рівня вищої освіти (РВО) та за кожною формою навчання (в тому числі навчання зі скороченим або подовженим, порівняно з типовим, терміном навчання) на основі відповідної ОПП(освітньо-професійної підготовки) магістрів(бакалаврів) та графіка навчального процесу. Навчальний план визначає перелік і обсяг навчальних дисциплін, послідовність їх вивчення, розподіл навчальних годин за видами занять у семестрах, вид семестрового контролю та випускної атестації. Навчальні плани ухвалюються вченими радами відповідних інститутів/факультетів і затверджуються ректором. Підпис ректора скріплюється печаткою університету. Перегляд навчальних планів і їх оновлення здійснюється не рідше одного разу за 5 років. Навчальні дисципліни у навчальному плані за напрямом підготовки магістр розподіляються на: – цикл загальної підготовки; – цикл професійної підготовки. Цикл загальної підготовки включає у себе такі групи дисциплін: 1) навчальні дисципліни базової підготовки; 2) навчальні дисципліни базової підготовки (за вибором студентів); 3) дослідницький (науковий) компонент (за вибором студентів). Дисципліни з циклу професійної підготовки розподіляють на: 1) навчальні дисципліни професійної та практичної підготовки та 2) навчальні дисципліни професійної та практичної підготовки (за вибором студентів). Відповідно до ст. 62 Закону України «Про вищу освіту» обсяг вибірових навчальних дисциплін має бути не менш як 25 % від загального обсягу програми підготовки. До вибіркової частини програми включається навчальні дисципліни загальної (інваріантної до спеціальностей) підготовки, що приймають участь у формуванні загальних (соціально-особистісних) компетентностей, навчальні дисципліни щодо засвоєння

іноземних мов (із вибором мови), а також навчальні дисципліни спеціалізацій. Нормативна частина програми має складати не менш ніж 40 % від загального обсягу програми підготовки. Кількість навчальних дисциплін, що пропонуються студентам для вибору, має забезпечити реальний і вільний вибір навчальних дисциплін. Вибір студентами, які навчаються за певною спеціальністю і РВО, навчальних дисциплін на наступний навчальний рік проводиться у другому семестрі попереднього навчального року за мажоритарним принципом з використанням електронного кампусу університету. Процедуру вибору студентами навчальних дисциплін організують деканати та відповідні випускові кафедри. Умовою вибору є забезпечення формування нормативної чисельності потоків та академічних груп. Результати студентського вибору зазначаються у відповідних робочих навчальних планах наступного навчального року. У навчальних планах за денною формою з навчальної дисципліни на аудиторні заняття виділяється, як правило, від 1/3 до 2/3 від загального обсягу навчального часу.

Робочі навчальні плани ухвалюються вченою радою відповідного інституту/факультету та затверджуються першим проректором не пізніше ніж за 4 місяці до початку навчального року. Розробка навчальних і робочих навчальних планів є одним з найбільш відповідальних видів методичної роботи науково-педагогічних працівників. Навчальні і робочі навчальні плани розробляються робочими групами випускових кафедр із залученням представників забезпечуючих кафедр. Персональний склад робочих груп визначається директором інституту/деканом факультету. Робочі групи працюють під безпосереднім керівництвом завідувачів відповідних випускових кафедр, а координацію їх діяльності і контроль за виконанням вимог до навчальних планів здійснює заступник директора інституту/декана факультету з навчально-методичної роботи. Навчальні і робочі навчальні плани складаються за визначеними навчальним відділом університету електронними формами. Вимоги до структури, змісту та оформлення навчальних і робочих навчальних планів викладені в «Методичних рекомендаціях до складання навчальних та робочих навчальних планів».

В якості педагогічної практики було підготовлено доповідь по темі магістерської дисертації: «Безперервне литво. Вплив газоимпульсної обробки на формування безперервно литих заготовок». Головним завданням було якомога доступніше донести студентам підготовлену заздалегідь інформацію, спробувати втримати увагу аудиторії та співпрацювати з слухачами під час і після проведення доповіді.

Порядок проведення доповіді:

- Представлення та перевірка присутності студентів на занятті, з відповідними позначками у журналі відвідування.

- Оголошення теми доповіді.

- Проведення доповіді по зазначеній темі.

- Відповіді на питання.

Для кращого розуміння студентами матеріалу, щодо якого йде мова, попередньо було підготовлено презентацію із відповідним графічним матеріалом (слайди наведено в додатку 1).

ВИСНОВКИ

1. Результати досліджень по газоімпульсній обробці розплаву показують, що вона викликає розвиток потужних турбулентних потоків по осі заготовки, при цьому виникають кільцеві вихори, створюючи інтенсивний рух розплаву, надають силовий вплив на кордон затвердіння і викликають обламування дендритів.

2. Силовий вплив пульсуючого потоку на фронт кристалізації призводить до облому дендритів і їх осідання на дно. При цьому необхідно вибрати раціональні параметри перемішування, що виключають сильну турбулізацію всього обсягу рідкої фази і забезпечують оптимальні гідродинамічні та теплофізичні умови формування заготовки. За даними моделювання можна рекомендувати наступні параметри: частота пульсації $150 \div 180$ хв-1; амплітуда $60 \div 100$ мм і глибина занурення труби $180 \div 190$ мм.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С.. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов. – М.: Metallurgy, 1995. – 272 с.
2. А.с. № 372022 СССР. МКИЧ В22Д7/12. Способ получения слитков / Б.В.Платонов, В.А.Ефимов, В.И.Легенчук и др. Заявл. 31.12.71. Опубл. 01.03.73. Бюлл. №13.
3. Ueda A., Namura N., Onishi M. Performance and Kinetics of 2501 pulsating Mixing unit for ladle Refining of bof Melts // Iron Steelmaker. –1984. - №7. – P. 23-28.
4. Ефименко С.П., Пилюшенко В.Л., Смирнов А.Н. Пульсационное перемешивание металлургических расплавов. – М.: Metallurgy, 1989. – С. 36-39, 106-108.
5. Лаврентьев М.Л., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. – М.: Наука, 1977. – 328 с.
6. Смирнов А.Н. Теоретические основы пульсационного перемешивания расплавленного металла и его использование на примере получения синтетического литейного чугуна: Дисс. канд. техн. наук: 05.16.02. – Донецк: 1984. – 162 с.
7. Сапко В.Н., Платонов Б.В., Ефимов В.С. и др. Влияние упругих колебаний на кристаллизацию и качество слитка // Проблемы стального слитка: Труды VII конференции по слитку. – М.: Metallurgy, 1978. – С. 180-181.
8. Фудзии Т., Огучит Ю., Сумида Н. и др. Разработка процесса с пульсирующим перемешиванием для рафинирования жидкой стали в ковше // Чистая сталь. Сб. научн. тр. – М.: Metallurgy, 1987. – С. 191-205.
9. Ефимов А.В., Эльдарханов А.С. Современные технологии разливки и кристаллизации сплавов. – М.: Машиностроение, 1998. – 360 с.
10. Перелома В.А., Найдек В.Л. и др. Вихревая структура расплава и взаимодействие с ванной // Процессы литья. – 1990. - №2. – С. 4-11.

11. Якобше Р.Я., Носоченко О.В., Баранова В.Н. и др. Интенсивность газоимпульсного перемешивания стали в процессе формирования слитка // Процессы литья. – 1992. - №3. – С. 42-47.
12. Ефимов В.А. и др. Структура и свойства стали при перемешивании // Повышение качества стального слитка. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1988. – С. 37-41.
13. Ефимов В.А. и др. Затвердевание и структура сплавов при интенсивном перемешивании // Формирование стального слитка. – М.: Metallurgy, 1986. – С. 32-35.
14. Смирнов А.Н., Чернобаева Т.В. О модифицирующем эффекте при пульсационном перемешивании жидкой фазы стальных слитков в процессе их затвердевания // Процессы литья. – 1995. - №1. – С. 65-68.
15. Пилюшенко В.Л., Смирнов А.Н., Носов Е.Г. Улучшение качества кузнечных слитков путем управления процессами макроликвации // Сталь.- 1995. - №3. – С. 18-22.
16. Аята К., Фудзимото Т., Мори Т. Влияние перемешивания на заключительной стадии затвердевания на центральную ликвацию непрерывных слитков высокоуглеродистой стали // Тэцу то Хаганэ. Том 71. - №12. – 1985. – С. 214-218.
17. Пилюшенко В.Л. и др. Исследование особенностей затвердевания слитка при пульсационном перемешивании жидкой фазы // Процессы литья. - 1994. - №2. – С. 20-27.
18. Идельчик И.Е. Аэродинамика технологических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983. – С. 33-35, 87, 103-104.
19. Чернов Д.К. Наука о металлах / Под ред. Н.Т. Гудцова. – М.: Metallurgizdat, 1950. - 564 с.
20. Тыжнов В.И. Кремневостановительный мартеновский процесс. – М. – Свердловск: Metallurgizdat, 1939. – 132 с.
21. Касум-заде Н.Г. Изменениеструктуры и свойств стали под влиянием физико-химических процессов. – Баку: Техника, 1957. – 430 с.

22. Гончар В.П. Расчет параметров виброобработки металла в изложницах // Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация». – 1975. - №7. – С.37-38.
23. Баландин Г.Ф. Формирование кристаллического строения отливок. – М.: Машиностроение, 1979. – 288 с.
24. Герман Э. Непрерывное литье. – М.: Металлургиздат, 1961. – 814 с.
25. Ульянов В.А., Скворцов А.А. Теплофизические аспекты применения водоохлаждаемых холодильников // Проблемы стального слитка: – Киев, ИПЛ АН УССР, 1988. – С. 52-56.
26. Эльдарханов А.С. Процессы кристаллизации в поле упругих волн. – М.: Металлургия, 1996. – 265 с.
27. Tamman G. // Phys. Chem. – 1937. Bd. 23. - P. 326.
28. Данилов А.М. Стальной слиток. – М.: Металлургиздат, 1952. – 106 с.
29. Кузнецов А.Ф. К вопросу о вибрировании кристаллизующегося слитка // Сб. научн. тр. / Ждановский металлургический институт. – Жданов. – 1957. - Вып. 4. – С. 37-45.
30. Бидуля П.Н. Теоретические основы прессования стали при кристаллизации // Литейное производство. - 1964. - №9. – С. 6-8.
31. Campbell I. Effects of vibration during Solidification // Internationale Metals Reviews. – 1981. - №2, - P. 71-108.
32. Оно А. Затвердевание металлов. – М.: Металлургия, 1980. – С. 81-87.
33. Межидов В.Х., Асхабов Х.И., Эльдарханов А.С., Щупак Ю.Д. Влияние вибрации на кристаллизацию органического слитка // Влияние внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся металл. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1983, – С. 35-40.
34. Эльдарханов А.С., Межидов В.Х., Мусаев У.О., Баталов М.А. Механизм действия упругих колебаний на измельчение кристаллической структуры в процессе затвердевания расплавов // Тезисы докладов VIII Всесоюзной конференции «Новые высокопроизводительные технологические процессы, высококачественные сплавы и оборудование в литейном производстве». Каунас, ИПЛ, 1986, – С. 347-348.

35. Балакин Ю.А., Гладков М.И. Энергоемкость внешнего воздействия на затвердевающий металл с позиций термодинамики // Изв. вузов. Черная металлургия. - 2001. - №6. – С. 44-46.
36. Гладков М.И., Балакин Ю.А., Гончаревич И.Ф. Термодинамический анализ условий зарождения и роста кристаллов при виброобработке металла // Изв. вузов. Черная металлургия. - 1989. - №9. – С. 27-29.
37. Гельд П.В., Баум Б.А., Тягунов Г.В. и др. Связь свойств металла в жидком и твердом состояниях. Свойства расплавленных металлов. – М.: Наука, 1974. – С. 7-10.
38. Гладков М.И., Балакин Ю.А. Экономия металла при конструировании и производстве отливок // Межвуз. Сб. науч. тр. – Пенза: Изд. Пенз. политех. ин-та. 1990. - Вып. 3. – С. 87-92.
39. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Технологии современной металлургии. – М.: Новые технологии, 2004. – 784 с.
40. Мусаев У.О., Нурадинов А.С., Ожог К.В. Кавитационные эффекты при действии ультразвука на кристаллизующийся расплав // Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. – Грозный, 1987. – С. 64-65.
41. Гладков М.И., Балакин Ю.А. Виброобработка жидкого металла // Литейное производство, 2000. - №12. – С. 7-8.
42. Баталов М.А., Эльдарханов А.С. Выбор оптимальной точки приложения вибрации для улучшения макроструктуры кристаллизующегося слитка // Процессы разливки, моделирования и кристаллизации стали и сплавов. – Волгоград, 1990. - Ч.1. – С. 35-37.
43. Cambell I. // Solidification technology in the foundry and cast house. – London, 1988. – P. 61-64.
44. Игнатченко Н.М., Менюк А.М., Совсимов П.М. Отливка деталей в вибрирующие формы // Литейное производство. – 1952. - №5. – С. 26-27.

45. Эльдарханов А.С. Применение физических методов моделирования для изучения влияния вибрации на процессы затвердевания сплавов // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Киев: 1996. – 320-321 с.
46. Бутуревич И.Х., Гончаров Б.Ф., Смирнов А.Б. Кольцевые колебательные системы // Интенсификация технологических процессов в ультразвуковом поле. – М.: Металлургия, 1986. – С. 24-27.
47. Чебышев В.А. Литье с объемной вибрацией // Литейное производство. – 1999. - №5. – С. 26-28.
48. Серветник В.М., Соляников Б.Г., Носов В.А. Улучшение качества стали ШХ15 путем виброобработки слитков // Сталь. – 1987. - №4. – С. 48-49.
49. Эльдарханов А.С. Исследование условий роста кристаллов в поле упругих волн // Процессы литья. – 1995. - №4. – С. 49-59.
50. Майоров А.И., Кирдеев Ю.П., Строева В.И. и др. Повышение качества непрерывнолитых заготовок под воздействием вибрации // Сталь. - 1984. - №11. – С. 26-27.
51. Скворцов А.А., Акименко А.Д., Ульянов В.А. Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок. – М.: Металлургия, 1991. – 216 с.
52. Глазков А.Я., Можан А.Л., Фоменко К.П. Влияние электрогидроимпульсной обработки на структурную и химическую однородность непрерывнолитых сортовых и трубных заготовок // Совершенствование процессов непрерывной разливки стали. – Киев: Наук. думка, 1985. – С. 125-130.
53. Герасименко В.Г., Кондратюк А.М., Михнова Э.А. и др. Влияние электрогидроимпульсной обработки металла на однородность строения непрерывнолитых слэбов // Влияние внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся металл. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1983. – С. 76-78.
54. Herbert L. and Bruce R. Forman. Measurement and analysis of slab caster mold movement // Steelmaking conference proceeding. 1991. – P. 219-222.

55. Hermert L. Gilles, Mruse R. Forman Jose M. Dejesus, Thomas I. Rosso. Design and analysis of a slab mold oscillator leafspring guide // Steelmaking conference proceedings. – 1992. – P. 912-925.

56. Itayama S., Tozawa H. and Sorimachi K. Control of early, solidification of strand cast slabs by horizontal mold oscillation synchronized with vertical mold oscillation // Steelmaking conference proceedings. – 1994. – P. 366-368.

57. Bertaut E.F. and Smith M.P. Short stroke-high frequency oscillation of eastern stainless / Steelmaking conference proceedings. – 1992. – P. 473-476.

58. Еронько С.П., Быковских С.В. Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разлива стали. – Киев: Техника, 1998. – 136 с.

ДОДАТКИ