

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**Антикуз Олег Васильович**

УДК 669.018.258

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ КРИСТАЛІЗАТОРА МАШИ-  
НИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТІВОК І ВДОСКОНАЛЕННЯ ЙОГО  
КОНСТРУКЦІЇ**

**Спеціальність 05.05.08 “Машини для металургійного виробництва”**

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Донецьк-2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
СМІРНОВ Олексій Миколайович,  
Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»,  
(м. Донецьк), завідувач кафедри «Металургія сталі».

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
БІЛОДІДЕНКО Сергій Валентинович,  
«Національна металургійна академія України»  
(м. Дніпропетровськ), професор кафедри «Маши-  
ни і агрегати металургійного виробництва»;

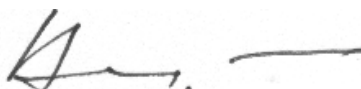
кандидат технічних наук, доцент  
СИДОРОВ Володимир Анатолійович,  
Державний вищий навчальний заклад  
«Донецький національний технічний універси-  
тет»,  
(м. Донецьк), доцент кафедри «Механічне  
обладнання заводів чорної металургії».

Захист відбудеться «25» листопада 2010 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.01 Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, Донецьк, вул. Артема, 58, I навчальний корпус, малий актовий зал.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, II навчальний корпус.

Автореферат розісланий «22» жовтня 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
Д 11.052.01, д.т.н., проф.



О.В. Яковченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Найважливішими завданнями розвитку процесу виробництва безперервнолитої заготовки й обладнання для його реалізації в сучасних умовах є підвищення якості, збільшення продуктивності, зниження енергоємності й собівартості одержання готової продукції. У зв'язку з цим дослідження, спрямовані на вибір раціональних параметрів руху кристалізатора машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), що впливають на стабільність процесу розливання, якість безперервнолитої заготовки й продуктивність роботи МБЛЗ, заслуговують на особливу увагу.

Рішення завдань, пов'язаних з підвищенням якості поверхні заготовки і збільшенням продуктивності МБЛЗ, можливо за рахунок раціоналізації параметрів руху кристалізатора, а також за рахунок удосконалення його конструкції. Особливо сильний вплив параметрів руху кристалізатора позначається при одержанні заготовки прямокутного перетину, тому що при розливанні слябової заготовки площа контакту її з кристалізатором максимальна. У зв'язку із цим рішення важливого науково-технічного завдання вибору раціональних параметрів руху кристалізатора МБЛЗ із метою підвищення продуктивності агрегату, збільшення стабільності процесу розливання й підвищення якості заготовки дозволить поліпшити експлуатаційні показники МБЛЗ і стане основою для створення ефективних вітчизняних агрегатів виробництва безперервнолитої продукції. Виконані в дисертації дослідження спрямовані на рішення поставленого завдання, що свідчить про актуальність теми.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Питання й завдання, розглянуті в дисертаційній роботі, відповідають Державній програмі розвитку гірничо-металургійного комплексу України до 2010 року й Державній програмі енергозбереження. Виконання дисертації пов'язане з планами науково-дослідних робіт Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет». Ряд положень дисертації є результатами науково-дослідної роботи, виконаної при особистій участі автора в якості виконавця в 2010 р. (№ д/р 0110У002644 «Дослідження особливостей гідродинамічних, теплових, кристалізаційних та деформаційних процесів, що супроводжують формування твердої скоринки безперервнолитої заготовки в кристалізаторі МБЛЗ»).

**Мета й завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є теоретичне й експериментальне обґрунтування параметрів руху кристалізатора МБЛЗ і вдосконалення його конструкції, що забезпечує поліпшення умов формування твердої скоринки й підвищення якості поверхні заготовок шляхом зменшення глибини слідів хитання.

Для досягнення зазначеної мети в роботі були поставлені наступні основні завдання:

- вивчити умови (механізми) утворення слідів хитання на поверхні безперервнолитої заготовки;

- вивчити основні конструктивні рішення механізмів, що забезпечують зворотно-поступальний рух кристалізатора, а також сучасні підходи до вибору параметрів руху кристалізатора;

- встановити характер впливу законів руху кристалізатора на утворення слідів хитання на поверхні заготовки і утворення хвиль на меніску;

- розробити рекомендації, спрямовані на вибір раціонального закону руху кристалізатора, що забезпечує поліпшення умов зародження в ньому скоринки заготовки;

- розробити рекомендації, спрямовані на вибір параметрів несинусоїдального закону руху кристалізатора, що дозволяє зменшити вірогідність виникнення хвиль на меніску;

- обґрунтувати місце розташування датчика рівня металу в кристалізаторі МБЛЗ, а також необхідність удосконалювання механізму хитання за рахунок установки на кристалізатор стаціонарних акселерометрів, які дозволяють відстежувати технічний стан кристалізатора.

*Об'єкт дослідження.* Механізм хитання кристалізатора машини безперервного лиття заготовок.

*Предмет дослідження.* Параметри руху кристалізатора, що впливають на процеси хвилеутворення на вільній поверхні розплаву і формування поверхні безперервнолитої заготовки. Місце розташування датчиків рівня металу в кристалізаторі і акселерометрів.

*Методи дослідження.* При виконанні роботи використані відомі методи дослідження: фізичне моделювання процесів утворення хвиль на меніску рідини в кристалізаторі МБЛЗ, методи імітації зворотно-поступального руху кристалізатора з урахуванням основних положень теорії машин для металургійного виробництва, методи віброметрії, а також методи математичної статистики для обробки результатів. При математичному моделюванні законів руху кристалізатора використовувалися сучасні пакети комп'ютерних програм.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

1. Вперше теоретично й експериментально встановлений вплив частоти зворотно-поступального руху кристалізатора на процес виникнення стоячих хвиль на дзеркалі металу в кристалізаторі. Утворення хвиль відбувається при збігу вказаної частоти хитання із власною частотою коливань рідини, а також зменшенні нижнього граничного значення частоти хитання з 3,1 до 2,1 Гц і рості коефіцієнта несинусоїдальності з 0,5 до 0,7. При цьому коливання рівня металу знаходиться в межах від 10 до 30 мм. Його підтримка на заданому рівні дозволяє виключити незаплановані зупинки слябової МБЛЗ у цілому.

2. Розширено уявлення про несинусоїдальний закон руху кристалізатора у випадку згладжування кривої прискорення по прямій на ділянці зміни напрямку його руху. Встановлено, що в цьому випадку при зміні напрямку руху кристалізатора відсутній різкий зріст прискорення і на 15-25% максимальне значення прискорення нижче в порівнянні з традиційним несинусоїдальним законом.

3. Вперше встановлено, що процес розвитку стоячих хвиль на вільній поверхні рідкого металу в слябовому кристалізаторі сприяє явищу переносу шлаку з

усієї поверхні металу до вузьких граней кристалізатора і оголенню частини дзеркала металу, що викликає ріст в 2-2,5 разу амплітуди хвильових коливань. Наслідком значного збільшення амплітуди хвильових коливань поверхні металу є затягування шлакових часток у метал, у результаті чого відбувається його забруднення.

#### **Практичне значення отриманих результатів.**

Практичне значення має вперше запропонований спосіб хитання кристалізатора, який дозволяє забезпечити вищу швидкість розливання порівняно з синусоїдальним законом руху кристалізатора за рахунок використання коефіцієнта несинусоїдальності. Цей спосіб дозволяє на 25% знизити інерційні навантаження на механізм хитання кристалізатора порівняно з традиційним несинусоїдальним режимом за рахунок зменшення значення прискорення при ідентичних параметрах хитання (амплітуди, частоти, коефіцієнта несинусоїдальності), а також виключити різкий стрибок в прискоренні при зміні напрямку руху кристалізатора. Крім того, його використання дозволило зменшити глибину слідів хитання на 15%. Даний спосіб був використаний в системі управління при створенні слябової МБЛЗ Новокраматорським машинобудівним заводом спільно з НВО «ДОНІКС» для Новоліпецького металургійного комбінату і металургійного комбінату «Азовсталь» (акти впровадження результатів дисертаційної роботи від 17.04.2009 і 22.05.2009). Очікуваний економічний ефект склав 243860 грн/рік. Доля автора 30% (73158 грн).

Окрім цього, рекомендації щодо вибору параметрів хитання кристалізатора були використані при створенні нової автоматизованої системи контролю сили витягування заготовки «ФОРСЕКСПЕРТ», яка була розроблена при безпосередній участі автора спільно із співробітниками НВО «ДОНІКС». Очікуваний економічний ефект склав 120000 грн/рік. Доля автора 30% (40000 грн).

Розробки, виконані в дисертації, використовуються в навчальному процесі на кафедрах «МОЗЧМ», «Металургія сталі» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (акт про використання в навчальному процесі від 22.04.2010).

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові і практичні результати роботи отримані автором самостійно. Розробка способу руху кристалізатора, рекомендації щодо вибору параметрів хитання кристалізатора, рекомендація про місце розташування датчика рівня металу в кристалізаторі, обґрунтування необхідності використання стаціонарних акселерометрів в кристалізаторі виконані автором.

У розробці ряду технічних рішень і їх реалізації брали участь співробітники ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», ЗАТ «НКМЗ», НВО «ДОНІКС», що знайшло віддзеркалення в спільних статтях.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові положення і результати дисертації обговорювалися на: науково-практичній конференції «НВО «ДОНІКС» - 15 років в науці і виробництві» (м. Донецьк, жовтень 2006); міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 75-літтю НКМЗ «Перспективи розвитку металургійного і прокатного устаткування. Сучасні технології виробництва, експлуатації і відновлення прокатних валків (м. Краматорськ,

10-12 червня 2009 р.); на XXXVI міжнародній науково-технічній конференції молоді (м. Запоріжжя, 3-6 листопада 2009 р.); об'єднаному семінарі кафедри «МОЗЧМ», ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» 1 червня 2010 р.

**Публікації.** Основний зміст дисертаційної роботи опублікований у 6 наукових роботах, у тому числі в 4 статтях наукових журналів, 2 статтях збірок наукових праць. У фахових наукових виданнях, включених до переліку ВАК України, опубліковано 5 статей.

**Структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 150 найменувань і 3 додатків. Повний обсяг роботи складає 173 сторінки, спільний обсяг - 140 сторінки. У розділах дисертації є 100 рисунки і 14 таблиць, у тому числі 10 рисунків і 1 таблиця, розміщені на окремих сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Перший розділ «Аналіз сучасних умов забезпечення стабільної роботи кристалізатора слябової МБЛЗ».** Завдання підтримки стабільного рівня металу в кристалізаторі є актуальним, оскільки при утворенні коливань рівня металу в кристалізаторі не тільки погіршується якість поверхні безперервнолитої заготовки, але й виникає вірогідність зупинки машини, що призводить до зниження продуктивності МБЛЗ. З боку дозуючого механізму вплив на виникнення коливань рівня металу в кристалізаторі може бути викликано зношуванням головки стопора-моноблока (заростанням отвору при використанні шибєрного затвора) і явищем «механічного гістерезису».

Аналіз природи утворення слідів хитання показав, що на теперішній час немає однозначного підходу до виявлення причин утворення так званих «слідів хитання» на поверхні безперервнолитої заготовки. Але практично в усіх теоріях висловлюється припущення, що утворення слідів хитання в різному ступені залежить від режиму хитання кристалізатора, щільності контакту між скоринкою заготовки і стінкою кристалізатора, а також від характеру змащення й теплопередачі між стінкою кристалізатора і заготовкою. Внаслідок цього необхідно більш детально вивчити вплив зворотно-поступального руху кристалізатора на динаміку поведінки дзеркала металу в кристалізаторі і на утворення слідів хитання на поверхні заготовки.

У зв'язку з тим, що коливання рівня металу в кристалізаторі впливають на формування слідів хитання, а, отже, і на якість поверхні безперервнолитої заготовки, на стабільність і продуктивність безперервного розливання сталі представляється необхідним вести оперативний контроль рівня металу в кристалізаторі і підтримувати його на постійному рівні. На сучасних МБЛЗ застосовується автоматизована система підтримки рівня металу в кристалізаторі, що управляє рухом стопора-моноблока і рухом кристалізатора.

Аналіз умов взаємодії кристалізатора із заготовкою показав, що існує ряд параметрів, що залежать від режимів хитання кристалізатора і швидкості розливання, які визначають якість поверхні й підповерхневих зон безперервноли-

тої заготівки. Серед основних параметрів необхідно виділити індекс випередження, час випередження, відстань між слідами хитання і їхню глибину, а також тертя між поверхнею заготівки і стінками кристалізатора.

Аналіз існуючих конструкцій механізмів хитання кристалізатора і законів його руху дозволили виявити основні недоліки механізмів хитання з електромеханічним приводом, а також недоліки класичного синусоїдального режиму хитання в порівнянні з несинусоїдальним. Традиційний несинусоїдальний режим хитання кристалізатора являє собою закон, згідно якого рух кристалізатора вгору здійснюється по одній синусоїді (з більшим періодом), а вниз - по іншій (з меншим періодом). Основними недоліками електромеханічного приводу в порівнянні з гідравлічним приводом є обмеження максимального значення частоти хитання, неможливість забезпечення несинусоїдального режиму хитання, відсутність можливості змінювати значення амплітуди хитання в процесі розливання. Несинусоїдальний режим хитання кристалізатора має наступні основні переваги в порівнянні із синусоїдальним режимом:

- несинусоїдальний режим хитання дозволяє мінімізувати час випередження (час, при якому кристалізатор рухається швидше заготівки в одному напрямку), що дозволяє використовувати більш високошвидкісні режими розливання, а також оптимізувати тривалість впливу стискаючих навантажень на скоринку заготівки;
- при меншому значенні часу випередження глибина слідів хитання також зменшується;
- несинусоїдальний режим хитання кристалізатора дозволяє розширити діапазон марок сталі, що розливаються.

У зв'язку з цим можна виділити наступні напрямки подальших досліджень: вплив хитання кристалізатора на процес утворення стоячих хвиль у ньому, обґрунтування раціональних режимів хитання кристалізатора і розробка більш досконалого в порівнянні з традиційним несинусоїдальним засобом руху кристалізатора, обґрунтування місця розташування датчика рівня металу в кристалізаторі, удосконалення конструкції кристалізатора за рахунок оснащення його стаціонарними акселерометрами, які дозволяють здійснювати контроль технічного стану кристалізатора МБЛЗ і відповідність закону руху кристалізатора заданому.

**Другий розділ «Промислові дослідження функціонування приводу хитання різних МБЛЗ».** У рамках цього дослідження автором була вивчена робота різних механізмів хитання кристалізаторів МБЛЗ: як з електромеханічними, так і з гідравлічними приводами. При цьому оцінювалася як добра, так і незадовільна робота механізмів. Ці дослідження проводилися на різних металургійних підприємствах України. В коло вивчення потрапили слябові, блюмові і сортові МБЛЗ. В результаті даного дослідження встановлено, що технічний стан механізму хитання кристалізатора впливає не тільки на стабільність процесу розливання в цілому, але й на якість поверхні безперервнолитої заготівки.

Крім того, для виявлення основних причин і закономірностей коливань рівня металу в кристалізаторі було розглянуто 387 випадків виникнення хвильових коливань при розливанні слябової заготівки на сучасній МБЛЗ. Ці дані

були отримані з архіву автоматизованої системи керування кристалізатором «MoldExpert», встановленої на 2 двострумівих слябових МБЛЗ Алчевського металургійного комбінату. Обробка і систематизація цих матеріалів дозволила виділити деякі основні умови виникнення стоячих хвиль у кристалізаторі МБЛЗ.

Встановлено, що утворення стоячих хвиль (дві хвилі, що поширюються одночасно в однім і тім же середовищі в протилежних напрямках, при додаванні утворюють стоячу хвилю) на поверхні металу в кристалізаторі в 98 випадках з 100 відбувається при використанні несинусоїдального режиму руху останнього з коефіцієнтом несинусоїдальності  $k=0,6-0,7$  (відношення часу руху вгору до періоду одного коливання). При аналізі промислових даних, пов'язаних з утворенням хвиль у кристалізаторі на фізичній моделі було відзначено, що з ростом коефіцієнта несинусоїдальності частота хитання платформи, при якій відбувається утворення хвиль, знижується при дотриманні всіх інших рівних умов. Рис. 1 ілюструє результати експериментальних досліджень. Отже, при виборі параметрів хитання кристалізатора необхідно також урахувувати й можливість утворення стоячих хвиль в ньому при використанні несинусоїдальних режимів хитання.

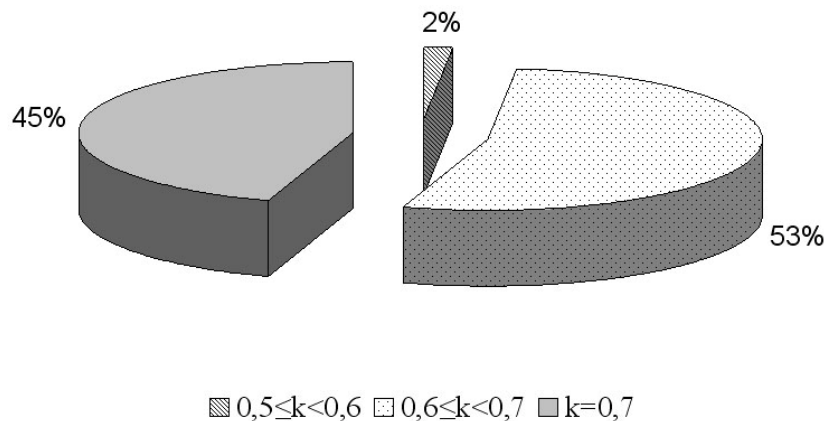


Рис. 1. Вплив коефіцієнта несинусоїдальності на утворення стоячих хвиль у кристалізаторі МБЛЗ

В результаті аналізу графіків автоматизованої системи були виділені основні умови, при яких у кристалізаторі утворюються стоячі хвилі. Вони представлені на рис. 2. Слід зазначити, що вірогідність утворення хвиль збільшується при наявності перехідних процесів під час розливання. До них можна віднести наступні: зміна встановленого значення рівня металу в кристалізаторі (2%), зниження швидкості розливання (6%), коливання стопора-моноблока (8%), збільшення швидкості розливання (15%), зміна ширини безперервнолитої заготовки (22%). Також слід зазначити, що 47% випадків (на основі аналізованих даних) утворення хвиль відбувається без протікання перехідних процесів, які реєструються автоматизованою системою керування механізмом хитання кристалізатора. Це дозволяє припустити, що ці 47% випадків виникають у результаті



збігу власної частоти коливань металу із частотою хитання кристалізатора і/або частотою обурюючої дії, викликаною потоками рідкої сталі.

Встановлено, що утворення стоячих хвиль на меніску в кристалізаторі відбувається при розливанні слябів шириною від 1550 мм. Режим хитання кристалізатора - несинусоїдальний (коефіцієнти несинусоїдальності становлять 0,6 і 0,7). Хід кристалізатора становить 7-8 мм, частота хитання кристалізатора 130-150 кач/хв. При використанні синусоїдального режиму хитання кристалізатора (коефіцієнт несинусоїдальності 0,5) утворення хвиль на меніску кристалізатора спостерігається значно рідше, хоча якість поверхні заготовки поступається якості заготовки, яка розлита при використанні несинусоїдального закону руху кристалізатора.

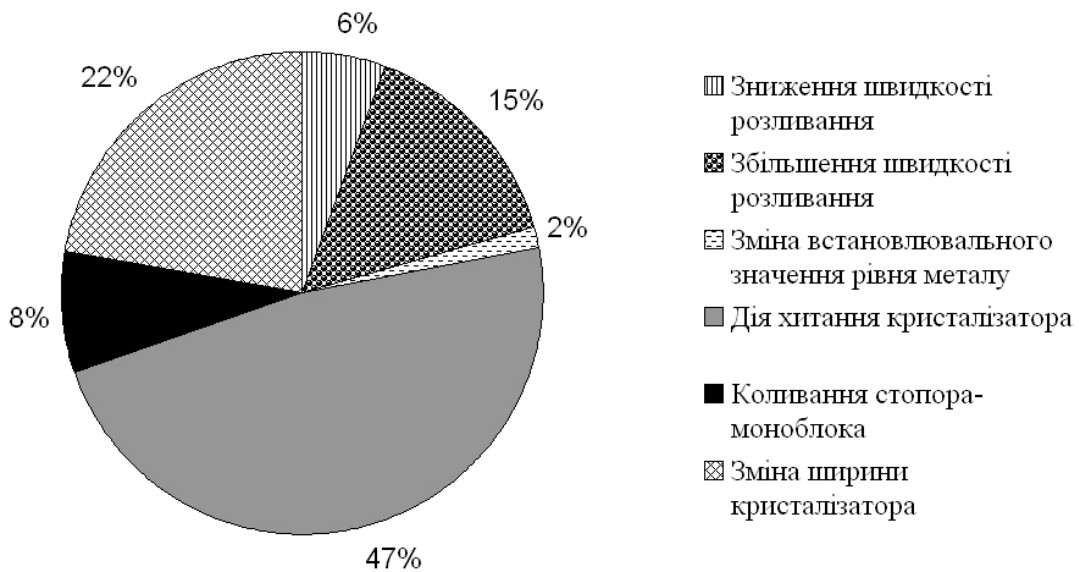


Рис. 2. Фактори, що сприяють утворенню стоячих хвиль у кристалізаторі слябової МБЛЗ

У технологічному плані утворення стоячих хвиль в кристалізаторі може привести до підвисання, аварійній зупинці машини. Ґрунтуючись на аналізі утворення стоячих хвиль у кристалізаторі слябової МБЛЗ і аналізі наслідків, до яких приводять хвилі, можна зробити наступні рекомендації: при розробці режимів руху кристалізатора необхідно також робити розрахунок власних частот коливань металу для кожного перетину, що розливається, і враховувати ці частоти при виборі параметрів хитання кристалізатора (частота, амплітуда, коефіцієнт несинусоїдальності). Тобто не використовувати такі частоти хитання, при яких система кристалізатор - рідка сталь може ввійти в резонанс, що приведе до утворення хвильових коливань на дзеркалі металу.

**Третій розділ «Вивчення явища періодичних коливань рівня металу в кристалізаторі і вдосконалення закону руху кристалізатора слябової МБЛЗ».** В якості фізичної моделі для дослідження режимів хитання кристалізатора, розробки нових несинусоїдальних режимів хитання, а також впливу параметрів хитання кристалізатора на процес хвилеутворення на поверхні металу

використовувалася фізична модель механізму хитання слябової МБЛЗ, що розроблена автором, кінематична схема якої представлена на рис. 3.

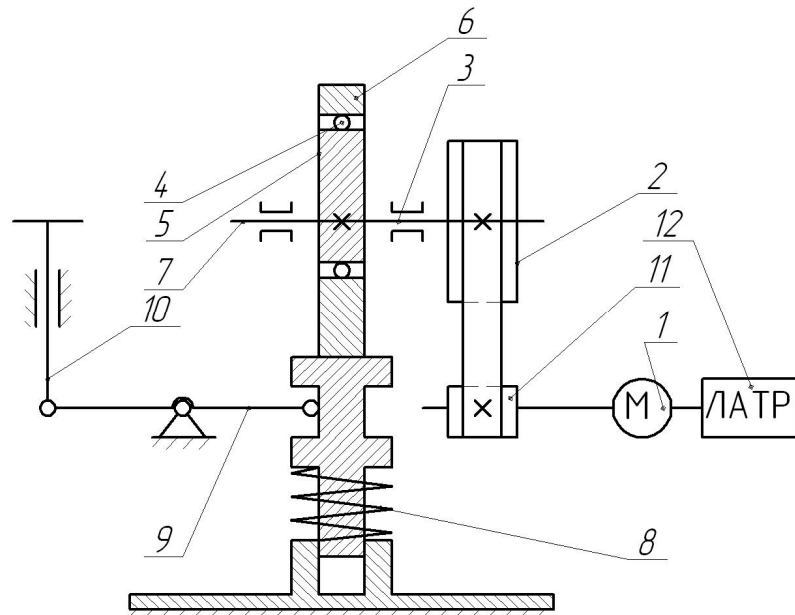


Рис. 3. Кінематична схема лабораторної установки механізму хитання кристаллизатора

Принцип роботи фізичної моделі полягає в наступному: при підключенні установки в мережу змінного струму, відбувається пуск електродвигуна 1, підключеного до неї через лінійний автотрансформатор 12. Функція автотрансформатора полягає в зміні напруги, що подається в ланцюг живлення електродвигуна. Це дозволяє змінювати швидкість обертання ротора двигуна. На валу електродвигуна жорстко закріплений шків клиноремінної передачі 11. За допомогою клинових ременів обертання передається веденому валу 2, що закріплений у підшипникових опорах 3. На цьому ж валу жорстко закріплений ексцентрик (кулачок) 5, за допомогою якого обертовий рух кулачка перетвориться у зворотно-поступальний рух підпружиненого штовхача 8. Тяга 10 шарнірно з'єднана з коромислом 9. При переміщенні штовхача 8, відбувається передача руху на коромисло й тягу. Тяги 10 жорстко закріплені з металевою платформою, на яку встановлюється ємність, що імітує кристалізатор з рідкою сталлю. Як моделююча рідина використовується вода. При моделюванні було дотримано геометричну подібність, а також критерій Фруда.

В результаті фізичного моделювання явища утворення хвиль на поверхні рідини, що імітує рідку сталь у кристалізаторі, під впливом хитання встановлене наступне:

- визначено значення частот хитання платформи, при яких на поверхні води відбувалося утворення хвиль, різке збільшення їхньої висоти (амплітуди);

- визначено значення частот хитання платформи, при яких на поверхні води, на яку був доданий тонкий шар трансформаторного мастила ( 2-5 мм), відбувалося утворення хвиль, різке збільшення їхньої висоти (амплітуди);
- при збільшенні коефіцієнта несинусоїдальності частота хитання платформи, при якій відбувалося утворення хвиль або значне збільшення їхньої амплітуди, знижувалася. Це явище виявлялося як при моделюванні з водою, так і при моделюванні з тонким шаром трансформаторного мастила;
- при нанесенні на поверхню води тонкого шару масла хвильові коливання також спостерігалися, але на більше високій частоті хитання платформи. Це пояснюється тим, що в'язкість масла значно вище в'язкості води.

Крім того, при моделюванні хвиль у середовищі вода + мастило (рис. 4 а - спокійний стан) був відзначений наступний ефект: при використанні кулачків з коефіцієнтом несинусоїдальності 0,6 і 0,7 на певній частоті хитання платформи на поверхні моделюючого середовища виникали хвилі невеликої довжини (рис. 4 б).

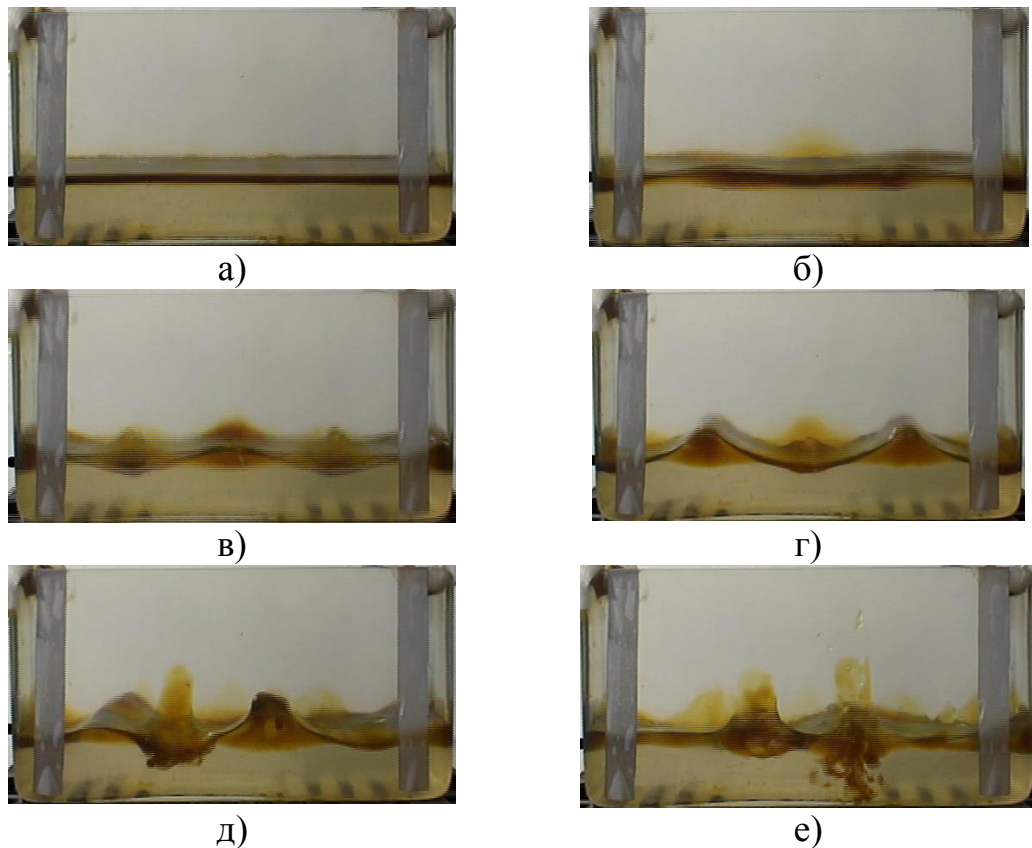


Рис.4. Ефект затягування часточок мастила в результаті впливу коливань рівня рідини: а) спокійний стан; б) зародження хвиль; в, г) розвиток хвиль; д) зародження сплесків; е) затягування часточок мастила

Ці хвилі в процесі хитання платформи на постійній частоті поступово переносили мастило від центра ємності до її вузьких граней (рис. 4 в). Це сприяло оголенню в області западин хвиль поверхні рідини, що приводило до різкого

збільшення довжини і висоти хвилі на поточній частоті (рис. 4 г). Наслідком різкого збільшення хвилювань на поверхні рідини є зтягування часток більше тонкого шару мастила усередину рідини, що приводить до її забруднення (рис. 4 д, е).

Спостережуваний процес аналогічний процесу, що відбувається в умовах безперервного розливання сталі на слябових МБЛЗ із використанням ШУС (шлакоутворююча суміш) за умови виникнення на поверхні металу хвиль. Це негативно позначається на якості заготовки, тому що відбувається зтягування часток розплавленої ШУС у рідку сталь.

На мій погляд утворення стоячих хвиль у кристалізаторі МБЛЗ може бути викликано наступними основними причинами: вплив потоків рідкого металу при витіканні його із заглибного стакану; вплив частоти хитань при зворотно-поступальному русі кристалізатора; випинання оболонки заготовки у верхній частині зони вторинного охолодження і тому подібне.

У роботі виконана оцінка ступеня впливу хитання кристалізатора й випинання заготовки на процес утворення стоячих хвиль у кристалізаторі МБЛЗ. Для цього були визначені власні частоти коливання стоячих хвиль для слябового кристалізатора і фізичної моделі. Резонансна частота утворення стоячих хвиль визначається за відомою залежністю

$$f = \frac{1}{2 * \pi} \sqrt{g * \pi \frac{m}{a}}, \quad (1)$$

де  $g=9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;  $m$  – кількість вузлів хвилі;  $a$  – ширина меніска, на якому утворюються стоячі хвилі.

Розрахункові значення власних частот коливань стоячих хвиль у слябовому кристалізаторі МБЛЗ Алчевського металургійного комбінату і у кристалізаторі фізичної моделі представлені в таблицях 1 і 2 відповідно.

Таблиця 1

**Власні частоти коливань поверхні рідкого металу в слябовому кристалізаторі**

Ширина кристалізатора, м	Кількість вузлів							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Власна частота коливань поверхні металу, Гц							
1,5	0,72	1,02	1,25	1,44	1,61	1,77	1,91	2,04
1,6	0,7	0,99	1,21	1,4	1,56	1,71	1,85	1,98
1,7	0,68	0,96	1,17	1,36	1,52	1,66	1,79	1,92
1,8	0,66	0,93	1,14	1,32	1,47	1,61	1,74	1,86
1,9	0,64	0,91	1,11	1,28	1,43	1,57	1,70	1,81
2,0	0,62	0,88	1,08	1,25	1,4	1,53	1,65	1,77
2,1	0,61	0,86	1,06	1,22	1,36	1,49	1,61	1,72
2,2	0,6	0,84	1,03	1,19	1,33	1,46	1,58	1,68

**Власні частоти коливань поверхні рідини в ємності, що імітує  
слябовий кристалізатор**

Ширина ємності, м	Кількість вузлів							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Власна частота коливань поверхні рідини, Гц							
0,3	1,61	2,28	2,79	3,23	3,61	3,95	4,27	4,56

У результаті порівняння експериментальних даних з даними, отриманими шляхом розрахунку можна зробити наступні висновки. Всі частоти хитання платформи, на яких відбувалося або утворення хвиль на поверхні рідини, або різке збільшення амплітуди хвиль відповідають частотам власних коливань рідини для певної ширини меніска.

Встановлено, що частоти хитання платформи, отримані при фізичному моделюванні явища утворення хвиль на поверхні, близькі за значенням резонансним частотам стоячих хвиль, розрахованими за виразом (1). Відхилення в значеннях частот пояснюються погрішністю вимірів і точністю приладів ( $\pm 10\%$ ), за допомогою яких реєструвалися частоти хвилеутворення.

Було прийнято рішення розробити новий більш досконалий режим несинусоїдальних коливань кристалізатора в порівнянні із традиційним несинусоїдальним законом, що складається з 2-х синусоїд. Це дозволить знизити вірогідність виникнення хвильових коливань металу в кристалізаторі.

На рис. 5 представлений часовий сигнал прискорення кристалізатора, що рухається за розробленим режимом, у порівнянні із традиційним несинусоїдальним законом руху. Сигнали переміщення й швидкості руху практично збігаються.

Прискорення руху кристалізатора для закону руху з використанням згладжування визначається за наступною залежністю:

$$a = \begin{cases} -A \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f_b^2 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_b \cdot t - \frac{\pi}{2}) & \text{при } t \in [0; t_b - \Delta t] \\ k \cdot t + b & \text{при } t \in (t_b - \Delta t; t_b + \Delta t) \\ -A \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f_n^2 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot t + \frac{\pi}{2}) & \text{при } t \in [t_b + \Delta t; T] \end{cases} \quad (2)$$

$$k = \frac{a(t_b + \Delta t) - a(t_b - \Delta t)}{-2 \cdot \Delta t}; \quad (3)$$

$$b = a(t_b - \Delta t) - k \cdot (t_b - \Delta t). \quad (4)$$

де  $A$ , мм – амплітуда хитання кристалізатора;  $f_b$ , Гц – частота хитання кристалізатора при русі вгору;  $t$ , с – поточне значення часу;  $t_b$ , с – час руху кри-

сталізатора вгору;  $\Delta t$ , с – половина діапазону згладжування;  $a(t_g - \Delta t)$ ,  $a(t_g + \Delta t)$  - значення прискорення для традиційного несинусоїдального закону в моменти часу  $t_g - \Delta t$  і  $t_g + \Delta t$ ;  $f_H$ , Гц - частота хитання кристалізатора при русі донизу;  $T$ , с – період одного повного коливання кристалізатора.

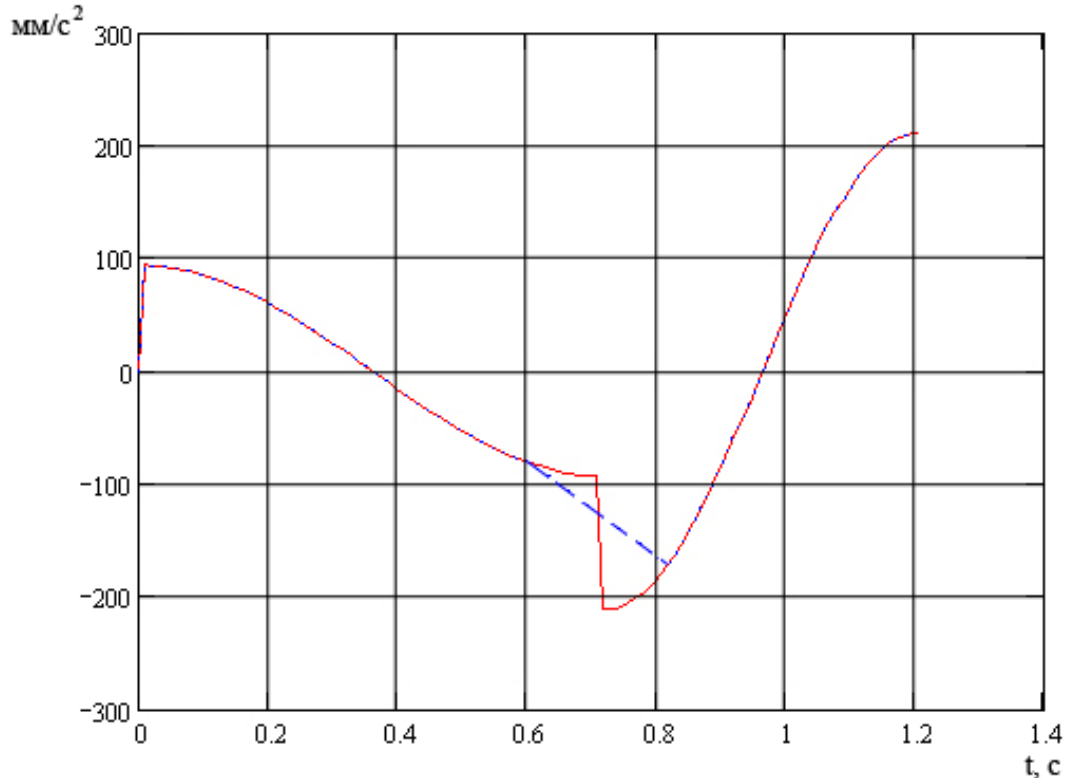


Рис. 5. Графіки порівняння сигналу прискорення несинусоїдального режиму хитання без згладжування (безперервна лінія) і зі згладжуванням (пунктирна лінія) ( $k=0,6$ ,  $A=5$  мм)

При порівнянні двох типів несинусоїдальних режимів хитання показано, що у несинусоїдальних режимів хитання зі згладжуванням і без нього істотних відмінностей у графіках переміщення і швидкості немає. Модифікований несинусоїдальний режим кращий, чим відповідний йому традиційний несинусоїдальний режим, за наступними міркуваннями:

- при незмінному часі випередження усунута різка зміна закону прискорення при зміні напрямку руху кристалізатора;
- знижено максимальні значення прискорення приблизно на 25%, а, отже, і інерційні навантаження на 25%;
- знижено величину другої гармоніки в спектрі переміщення, а, отже, зменшена вірогідність виникнення хвиль на поверхні рідкої сталі в кристалізаторі.

**Четвертий розділ «Розробка автоматизованої системи керування кристалізатором і вдосконалення його конструкції».** Донедавна в Україні не було вітчизняної МБЛЗ із системою гідравлічного приводу механізму хитання

кристалізатор. Дослідження спрямовані на вивчення режимів руху кристалізатора і їхнього впливу на якість поверхні заготовки, процесів утворення хвильових коливань рідкої сталі в кристалізаторі слябової МБЛЗ, проведені автором, дозволили разом з ЗАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» вирішити комплекс завдань по створенню механізму хитання кристалізатора з гідравлічним приводом.

Аналіз даних, отриманих у результаті досліджень різних механізмів хитання кристалізатора, був використаний при проектуванні і виготовленні разом з Новокраматорським машинобудівним заводом співробітниками НВО «ДОНІКС» і ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» і механізмів хитання з гідравлічною системою хитання, і при створенні системи автоматичного контролю сили витягування заготовки «ФОРСЕКСПЕРТ» і керуванням кристалізатора для вертикальної слябової МБЛЗ Новолипецького металургійного комбінату. Поряд з усіма компонентами, «ФОРСЕКСПЕРТ» оснащена також і системою контролю переміщення кристалізатора. На рис. 6 представлена функціональна схема системи визначення переміщення кристалізатора.

Метою створення системи є моніторинг стану механізму хитання кристалізатора. Вона досягається за допомогою безперервного обчислення зусилля руху кристалізатора в процесі роботи МБЛЗ і порівнянням отриманих результатів із заздалегідь установленими значеннями бездефектного розливання. На підставі отриманих даних виносяться судження про наявність і характер дефекту поверхні злитка.

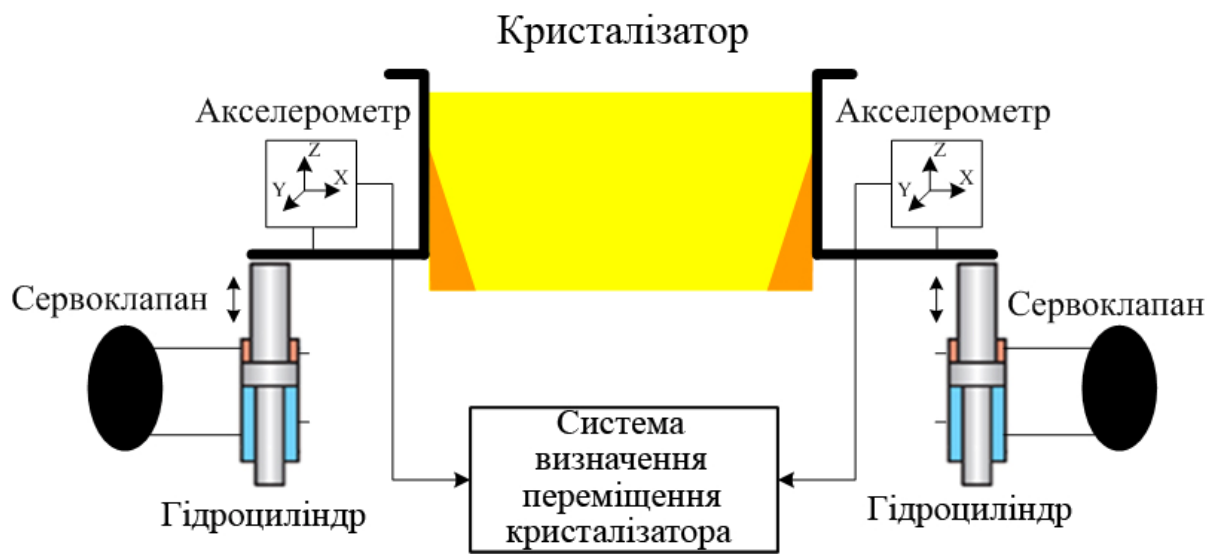


Рис. 6. Схема системи хитання кристалізатора із серво-гідравлічним приводом

На відміну від багатьох систем контролю і керування механізмом хитання кристалізатора, система «ФОРСЕКСПЕРТ» оснащена акселерометрами, які дозволяють під час процесу розливання здійснювати контроль за такими параметрами, як прискорення, швидкість руху й переміщення кристалізатора в трьох

напрямках, і у випадку невідповідності цих параметрів заданим, подавати сигнал на пульт керування.

Акселерометри встановлюються в спеціальному корпусі, що захищає датчики від впливу високих температур і вологи. Захисні коробки разом з датчиками кріпляться різьбовими з'єднаннями до корпусу кристалізатора. Це вдосконалення конструкції кристалізатора дозволяє в будь-який час (під час розливання, налагодження й ремонтів) одержувати достовірну інформацію про технічний стан механізму хитання кристалізатора. У випадку виявлення значних відхилень у відпрацьовуванні закону руху кристалізатора, на пульт подається сигнал попередження.

У цілому автоматична система «ФОРСЕКСПЕРТ» дозволяє здійснювати контроль технічного стану кристалізатора МБЛЗ в процесі розливання, його налагодження на спеціальному стенді, здійснювати контроль сили тертя між стінками кристалізатора і заготівкою. Це дозволяє вчасно виявити умови, які сприяють прориву металу під кристалізатором.

Система гідравлічного приводу хитання кристалізатора МБЛЗ разом з автоматизованою системою керуванням кристалізатора також були застосовані для двострумкової слябової МБЛЗ ВАТ «Азовсталь» і для шестиструмкової сортової МБЛЗ ВАТ «Єнакіївський металургійний завод».

## ВИСНОВКИ

**У дисертації вирішене актуальне науково-технічне завдання теоретичного й експериментального обґрунтування параметрів руху кристалізатора МБЛЗ (амплітуди, частоти хитання, коефіцієнта несинусоїдальності, форми кривої прискорення) і вдосконалювання його конструкції за рахунок обґрунтування місця розташування датчика рівня металу в кристалізаторі і оснащення кристалізатора двома триосьовими акселерометрами. Поліпшено умови формування твердої скоринки й підвищена якість поверхні заготовок шляхом зменшення глибини слідів хитання на 15 %.**

Основні наукові й практичні результати роботи.

1. Виконано аналіз сучасних уявлень про природу формування слідів хитання на поверхні безперервнолитої заготівки. Встановлено, що утворення слідів хитання в різному ступені залежить від параметрів хитання кристалізатора, щільності контакту між скоринкою заготівки і стінкою кристалізатора, а також від характеру змащення й теплопередачі між стінкою кристалізатора і заготівкою. Показано, що кращим є використання механізмів хитання кристалізатора з гідравлічною системою приводу, тому що вона дозволяє реалізувати несинусоїдальні режими хитання кристалізатора, які забезпечують більш широкий діапазон впливу на такий важливий параметр, як час випередження. У зв'язку з цим можна виділити наступні напрямки подальших досліджень: вплив хитання кристалізатора на процес утворення стоячих хвиль у ньому, обґрунтування раціональних режимів хитання кристалізатора й розробка більш досконалого в порівнянні з традиційним несинусоїдального закону руху кристалізатора, обґрунтування місця розташування датчика рівня металу в кристалізаторі, вдосконален-



ня конструкції кристалізатора за рахунок установки на нього стаціонарних акселерометрів, що дозволяють якісно відстежувати параметри хитання кристалізатора під час розливання й відповідність закону руху кристалізатора заданому.

2. Встановлено, що явище утворення стоячих хвиль на меніску в кристалізаторі відбувається при розливанні слябів переважно шириною від 1550 мм; режим хитання кристалізатора - несинусоїдальний (коефіцієнти несинусоїдальності становлять 0,6 і 0,7); хід кристалізатора становить 7-8 мм; частота хитання кристалізатора 130-150 кач/хв. При використанні синусоїдального режиму хитання кристалізатора (коефіцієнт несинусоїдальності 0,5) утворення хвиль на меніску кристалізатора спостерігається значно рідше (усього 2% зареєстрованих випадків утворення стоячих хвиль припадає на синусоїдальний режим хитання кристалізатора).

3. Створено фізичну модель механізму хитання кристалізатора, що дозволила вивчити процеси утворення хвиль на меніску рідкої сталі в кристалізаторі і їхнє поводження, відпрацювати методику визначення частот хитання кристалізатора, при яких утворюються хвилі, що полягає у вимірі частоти хитання під час утворення хвиль на поверхні рідини при використанні різних режимів руху, і різних мастил, що моделюють шар шлакоутворюючої суміші. З використанням моделі вперше експериментальним методом встановлено безпосередній вплив частоти зворотного-поступального руху кристалізатора на процес виникнення стоячих хвиль на дзеркалі металу в кристалізаторі, що відбувається при збігу частоти хитання з власною частотою коливань рідини, а також зменшення нижнього граничного значення частоти хитання з 3,1 до 2,1 Гц із зростанням коефіцієнта несинусоїдальності з 0,5 до 0,7 і пов'язане з цим коливання рівня металу в межах від 10 до 30 мм.

4. Методом фізичного моделювання встановлено, що при тривалому існуванні хвиль на поверхні рідкої сталі, відбувається перенос шлакоутворюючої суміші до вузьких граней слябового кристалізатора. При цьому оголюється дзеркало металу в центрі кристалізатора, і при незмінному режимі хитання відбувається різке збільшення амплітуди хвиль (в 2-2,5 рази), що спричиняє затягування часточок нерозплавленої суміші усередину заготовки і збій у системі автоматики.

5. Запропоновано новий несинусоїдальний спосіб хитання кристалізатора, при якому рух кристалізатора вгору здійснюється за синусоїдою з більшим періодом, а вниз із меншим, але в області зміни напрямку руху кристалізатора прискорення змінюється не ривком, а більш плавно за рахунок згладжування прямою. У порівнянні з традиційним несинусоїдальним законом запропонований має наступні переваги: при незмінному часі випередження, відсутній стрибок у сигналі прискорення при зміні напрямку руху кристалізатора, що забезпечує динамічних навантажень; максимальні значення прискорення приблизно на 25% нижче, а, отже, інерційні навантаження на механізм хитання зменшуються; менше значення величини другої гармоніки в спектрі переміщення, а, отже, менша вірогідність виникнення хвиль на поверхні рідкої сталі в кристалізаторі. Цей закон руху кристалізатора реалізований у вертикальній слябовій МБЛЗ Ново-

липецького металургійного комбінату, що була виготовлена ЗАТ «Новокраматорським машинобудівним заводом».

6. Датчик рівня металу необхідно встановлювати на відстані 200-300 мм від вузької грані. Це необхідно для передачі реальних даних про поведінку рідкої сталі в кристалізаторі до системи керування механізмами хитання, що дозволить вчасно реагувати на зародження хвильових коливань і запобігати їхньому утворенню. Датчики рівня металу, що розташовані в центрі широкої грані, не дозволяють одержати повноцінну картину, тому що заглибний стакан, через яку метал надходить у кристалізатор, виступає як хвилеріз. Отже, висота хвиль, що утворилися, у центрі буде значно менше, ніж у вузьких граней.

7. Удосконалено конструкцію слябового кристалізатора за рахунок установки на нього стаціонарних акселерометрів. У комплексі з розробленою автоматичною системою контролю зусилля витягування заготовки «ФОРСЕКС-ПЕРТ» це вдосконалення дозволяє здійснювати контроль технічного стану кристалізатора МБЛЗ в процесі розливання, його налагодження на спеціальному стенді, здійснювати контроль сили тертя між стінками кристалізатора й заготовкою. Це дозволяє вчасно виявити умови, які сприяють прориву металу під кристалізатором. Вітчизняних аналогів даної системи на сьогоднішній день не існує. Ця система була розроблена для вертикальної слябової МБЛЗ ВАТ «Новолипецький металургійний комбінат», сконструйованої ЗАТ «НКМЗ» (акти впровадження результатів дисертаційної роботи від 17.04.2009 і 22.05.2009). Загальний очікуваний економічний ефект склав 363860 грн/рік. Доля автора 30% (109158 грн).

8. Розроблені в дисертації фізичні моделі, теоретичні залежності й методи використовуються на кафедрах, «МОЗЧМ» «Металургія сталі» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» у навчальному процесі при вивченні дисциплін «Обладнання для забезпечення металургійних технологій» і «Моделювання та оптимізація технологічних процесів».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ З ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Смирнов, А.Н. "Оценка параметров качания кристаллизатора МНЛЗ и их влияния на качество поверхности заготовки" / А.Н. Смирнов, О.В. Антыкуз, А.Ю. Цупрун, Е.Ю. Жибоедов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2006. - №3. - С. 17-21.
2. Смирнов, А.Н. "Некоторые подходы к выбору рациональных параметров качания кристаллизаторов МНЛЗ" / А.Н. Смирнов, О.В. Антыкуз, А.Ю. Цупрун, В.М. Пильгаев // *Электromеталлургия*. - 2008. - №5. - С. 22-27.
3. Смирнов, А.Н. "Комплексный контроль параметров качания кристаллизаторов МНЛЗ" / А.Н. Смирнов, О.В. Антыкуз // *Металл и литье Украины*. - 2009. - №1-2. - с.57-61.
4. Смирнов, А.Н. "Достоинства и возможности механизмов качания кристаллизатора с гидравлическим приводом" / А.Н. Смирнов, О.В. Антыкуз, А.Ю. Цупрун // *Металлургические процессы и оборудование*. - 2009. - №4. - С. 33-38.

5. Смирнов А.Н. "Особенности полунепрерывной разливки медных заготовок и оптимизация режимов осцилляции кристаллизатора" / А.Н. Смирнов, О.В. Антыкуз, Ю.Д. Савенков // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Металургія» - 2009. - №11. – С. 145-153.
6. Смирнов А.Н. "Влияние возвратно-поступательного движения кристаллизатора на образование волн" / А.Н. Смирнов, О.В. Антыкуз // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. - 2010. - №7. - С. 235-237.

**Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві:**

[1] - Проаналізовано параметри хитання кристалізатора, і виділені основні, що впливають на якість поверхні заготовки. [2] - Сформульовано загальні підходи до вибору раціональних параметрів хитання кристалізатора з метою поліпшення якості поверхні безперервнолитої заготовки за рахунок зниження глибини слідів хитання. Позначено основні переваги несинусоїдальних законів руху кристалізатора. [3] - Визначено основні методи контролю параметрів руху кристалізатора МБЛЗ. Відзначено необхідність використання акселерометрів з метою контролю технічного стану механізму хитання кристалізатора. [4] - Виділено основні переваги механізмів хитання кристалізатора з гідравлічним приводом. [5] - Розроблено рекомендації з раціоналізації параметрів руху кристалізатора машини напівбезперервного лиття заготовок. [6] - Встановлено характер впливу режимів хитання кристалізатора на процес утворення стоячих хвиль. Виявлено ефект переносу шлакоутворюючої суміші під впливом хвильових коливань до вузьких граней слябового кристалізатора.

**АНОТАЦІЯ**

**Антыкуз О.В. Обґрунтування параметрів руху кристалізатора машини безперервного лиття заготовок і вдосконалення його конструкції. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.08 - Машини для металургійного виробництва. - Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2010.

Вирішено актуальне науково-технічне завдання теоретичного і експериментального обґрунтування параметрів руху кристалізатора МБЛЗ (амплітуда, частота хитання, коефіцієнт несинусоїдальності, форма кривої прискорення) і вдосконалення його конструкції (обґрунтування місця розташування датчика рівня металу в кристалізаторі, оснащення кристалізатора двома трихосьовими акселерометрами), що дозволяють покращити умови формування твердої скориночки і підвищити якість поверхні заготовок шляхом зменшення глибини слідів гойдання на 15 %.

Виконано дослідження закономірностей впливу режимів руху кристалізатора на вірогідність виникнення періодичних коливань рівня металу в кристалізаторі слябової МБЛЗ. Установлено, що при використанні несинусоїдальних

режимів хитання кристалізатора вірогідність виникнення коливань рівня значно вище, ніж при використанні синусоїдальних режимів. Розроблено новий несинусоїдальний закон руху кристалізатора, що за інших рівних умов дозволив виключити удар при зміні напрямку руху кристалізатора, а також знизити вірогідність виникнення хвиль на поверхні металу. Цей ефект досягається шляхом згладжування графіка прискорення за лінійним законом на ділянці зміни напрямку руху кристалізатора.

**Ключові слова:** механізм хитання кристалізатора, коливання рівня металу, коефіцієнт несинусоїдальності, закон руху кристалізатора.

## АННОТАЦІЯ

**Антыкуз О.В. Обоснование параметров движения кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и усовершенствование его конструкции. – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.08 – Машины для металлургического производства. – Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2010.

Решена актуальная научно-техническая задача теоретического и экспериментального обоснования параметров движения кристаллизатора МНЛЗ (амплитуда, частота качания, коэффициент несинусоидальности, форма кривой ускорения) и совершенствования его конструкции (обоснование места расположения датчика уровня металла в кристаллизаторе, оснащение кристаллизатора двумя трехосевыми акселерометрами), позволяющих улучшить условия формирования твердой корочки и повысить качество поверхности заготовок путем уменьшения глубины следов качания на 15 %.

Установлено, что возвратно-поступательное движение кристаллизатора МНЛЗ оказывает существенное влияние на формирование «следов качания» на поверхности непрерывнолитой заготовки, а, следовательно, и на качество ее поверхности. Кроме того, на формирование следов качания, а также на стабильности процесса непрерывной разливки отрицательно сказывается периодические колебания уровня металла в кристаллизаторе, одной из причин которых является нерациональный выбор режима качания кристаллизатора.

Установлено, что вероятность образования волн увеличивается при протекании каких-либо переходных процессов во время разливки. К ним относятся следующие: снижение скорости разливки (6%), увеличение скорости разливки (15%), изменение установочного значения уровня металла в кристаллизаторе (2%), колебания стопора-моноблока (8%), изменение ширины отливаемой заготовки в процессе непрерывной разливки (22%). Также следует отметить, что 47% случаев образования волн происходит без протекания переходных процессов. Это позволяет сделать вывод, что эти 47% случаев возникают в результате совпадения собственной частоты колебаний металла с частотой качания кристаллизатора и/или частотой возмущающих воздействий, вызванных потоками жидкой стали. Образование стоячих волн на поверхности металла в кристалли-

заторе в 98 случаях из 100 происходит при использовании несинусоидального режима движения кристаллизатора с коэффициентом несинусоидальности  $k=0,6-0,7$ .

Разработана и создана физическая модель механизма качания кристаллизатора, которая позволила симитировать как синусоидальные законы движения кристаллизатора, так и несинусоидальные. С использованием этой модели были исследованы условия возникновения волн на мениске жидкости, вызванные возвратно-поступательным движением кристаллизатора.

В результате физического моделирования явления образования волн на поверхности жидкости, имитирующей жидкую сталь в кристаллизаторе под воздействием качания, определены значения частот качания платформы, при которых на поверхности воды происходило образование волн, резкое увеличение их амплитуды. Для несинусоидальных режимов качания минимальная частота образования волн составили 2,63 Гц. Для синусоидального режима – 3,6 Гц.

Моделирование условий образования волн с использованием слоя масла на воде позволило обнаружить следующий эффект: в результате продолжительного воздействия волн, покрывающее поверхность жидкости масло было перенесено к узким граням емкости. В результате этого, посередине емкости зеркало воды оголилось, вследствие чего произошло резкое увеличение амплитуды волн, результатом чего стало затягивание частичек масла в воду.

Вследствие того, что использование несинусоидальных режимов качания кристаллизатора увеличивает вероятность образования волновых колебаний металла в кристаллизаторе, был разработан новый несинусоидальный закон движения кристаллизатора, который при прочих равных условиях позволил исключить удар при изменении направления движения кристаллизатора, а также снизить вероятность возникновения волн на поверхности кристаллизатора. Этот эффект достигается путем сглаживания закона изменения ускорения по линейному закону на участке изменения направления движения кристаллизатора. Данный закон был использован при проектировании и изготовлении слябовой МНЛЗ для Новолипецкого металлургического комбината.

Исследования различных механизмов качания кристаллизатора показали, что необходимо осуществлять постоянный контроль качества работы механизма качания кристаллизатора во время разливки. Следствием этого при проектировании и изготовлении совместно с Новокраматорским машиностроительным заводом и НПО «ДОНИКС» механизмов качания с гидравлической системой качания, а также при создании автоматизированной системы контроля усилия вытягивания заготовки «ФОРСЕКСПЕРТ», на кристаллизатор были установлены 2 3-х осевых акселерометра, которые позволяют осуществлять контроль скорости и ускорения движения кристаллизатора во время разливки в режиме он-лайн. Это позволит повысить стабильность работы МНЛЗ и осуществлять постоянный контроль технического состояния механизма качания кристаллизатора.

Датчик уровня металла необходимо устанавливать на расстоянии 200-300 мм от узкой грани. Это необходимо для передачи реальных данных о поведе-

нии жидкой стали в кристаллизаторе системе управления механизмами качания, что позволит своевременно реагировать на зарождение волновых колебаний и устранять их образование. Датчики уровня металла, расположенные в центре широкой грани не позволяют получить полноценную картину, так как погружной стакан, через которую металл поступает в кристаллизатор, выступает в качестве волнореза. Следовательно, высота образовавшихся волн в центре будет значительно меньше, чем у краев.

**Ключевые слова:** механизм качания кристаллизатора, колебания уровня металла, коэффициент несинусоидальности, закон движения кристаллизатора.

## SUMMARY

### **O.V. Antykuz. Substantiation of parameters of movement of a mold of continuous casting machine of preparations and improvement of its design.**

The dissertation is presented for awarding the scientific degree in engineering science on specialty 05.05.08. - Machines for Metallurgical Production. - State institute of higher education "Donetsk National Technical University", Donetsk, 2010.

Urgent scientific and technical objective of the theoretical and experimental approach caster mold motion parameters (amplitude, frequency, coefficient non-sinusoidal, the shape of the curve acceleration) and improve its structure (ground level sensor placement of metal in the mold, equipped with two molds tryhosovymy accelerometer) that allow improve conditions for the formation of solid crust and improve surface quality of billets by reducing the depth of oscillation marks by 15%.

Research of laws of influence of modes of movement of a mold on probability of occurrence of periodic fluctuations of level of metal in a mold slab CCM is executed. It is established that at use non-sinusoidal modes oscillation a mold probability of occurrence of fluctuations of level considerably above, than at use of sinusoidal modes. The new non-sinusoidal law of movement of a mold which has with other things being equal allowed to exclude blow at change of a direction of movement of a mold is developed, and also to lower probability of occurrence of waves on a mol surface metal. This effect is reached by smoothing of the law of change of acceleration under the linear law on a site of change of a direction of movement of a mold.

**Keywords:** the mechanism oscillation a mold, fluctuation of level of metal, factor non-sinusoidal; the law of movement of a mold.