

**А. С. Нурадинов, А. С. Эльдарханов*, В. Н. Баранова,
С. С-С. Ахтаев**, Н. С. Уздиева**, А. Г. Осадчий**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

* Научный центр «Новейшие материалы и технологии», Москва

**Грозненский государственный нефтяной технический университет, Грозный

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИОННОЙ И ГАЗОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАТВЕРДЕВАЮЩЕГО МЕТАЛЛА НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Методом физического моделирования исследовано влияние вибрации и газоимпульсного перемешивания расплава на гидродинамические процессы формирования блюмовой непрерывнолитой заготовки. Установлено, что указанные методы внешних физических воздействий интенсифицируют гидродинамические процессы в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения, тем самым усиливая тепло- и массообменные процессы в этих зонах.

Ключевые слова: расплав, формирование, непрерывнолитая заготовка, гидродинамические процессы, вибрация, газоимпульсное перемешивание.

Методом фізичного моделювання було досліджено вплив вібрації та газоімпульсного перемішування розплаву на гідродинамічні процеси формування блюмової безперервно-ливої заготовки. Встановлено, що вказані методи зовнішніх фізичних впливів інтенсифікують гідродинамічні процеси в кристалізаторі і зоні вторинного охолодження, тим самим підсилюють процеси тепло- і масообміну в цих зонах.

Ключові слова: розплав, формування, безперервнолита заготовка, гідродинамічні процеси, вібрація, газоімпульсне перемішування.

An influence of vibration and gas-impulsive mixing of melt on hydrodynamic forming process of bloom continuous-cast bar was studied by method of physics observation. It was established methods intensifies hydrodynamic processes in crystallizer and secondary-cooling zone there by its steps up processes of heat- and mass-exchanging in these zone.

Keywords: melt, forming, continuous-cast bar, hydrodynamic processes, vibration, gas-impulsive mixing

Организация рационального распределения потоков жидкой стали в кристаллизаторе при непрерывном литье является одной из важнейших задач получения качественной заготовки. Это объясняется тем, что поступающие в кристаллизатор перегретые объемы стали неравномерно подмывают отдельные места едва затвердевшей корочки заготовки и вызывают брак по трещинам. А неравномерность фронта кристаллизации приводит к образованию уже в зоне вторичного охлаждения так называемых «мостиков», ниже которых затвердевание идет при недостаточном питании жидким металлом, вследствие чего образуются усадочные раковины и поры.

В данной работе для более глубокого изучения механизма импульсного воздействия на затвердевающий расплав рассмотрены некоторые аспекты влияния газо- и виброимпульсной обработки на гидродинамические процессы формирования блюмовой непрерывнолитой заготовки, и кратко изложены результаты применения этих методов физических воздействий.

Для проведения исследований была разработана методика и создана экспери-

ментальная установка [1]. После проведения экспериментов по этой методике и обработки данных были получены следующие результаты: в контрольном эксперименте наблюдается простая гидродинамическая картина в виде циркуляционного движения расплава, вызванного естественной конвекцией. Значения скорости движения расплава вдоль фронта кристаллизации по высоте кристаллизатора меняются

от 0 до 0,06 м/с (рис. 1). При этом между нисходящей и восходящей частями потока существует «мертвая» зона (зона практически с нулевой скоростью движения расплава). Наличие таких зон подтверждает математическое моделирование формирования круглой заготовки [2]. Область расплава, вовлеченного в конвективное движение, распространяется на глубину 1,5-2,0 см от фронта кристаллизации и соответствует градиентному перепаду температур по сечению заготовки.

Для более корректного определения влияния вибрации на картину поля скоростей в кристаллизаторе исключали вынужденное перемешивание расплава под воздействием разливаемой струи, то есть охлаждение на кристаллизатор включали только после полного успокоения расплава и в качестве контрольных замеров фиксировали скорости движения расплава, вызываемые естественной конвекцией.

При вибрационной обработке заготовки в зависимости от места приложения, параметров и направления импульса картина поля скоростей существенно меняется. Вибрация разрушает пограничный слой, соответственно циркуляционное движение расплава. Наблюдается турбулентное движение практически всего объема расплава с формированием локальных вихрей различной протяженности (рис. 2). По мере остывания расплава вихри укрупняются по всему сечению заготовки. В разных точках кристаллизатора численные значения скоростей движения расплава в вихрях в 7-12 раз выше, чем в контрольных экспериментах (табл. 1).

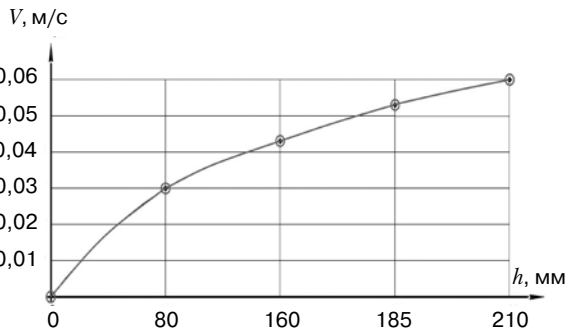


Рис. 1. Зависимость скорости движения расплава вдоль фронта кристаллизации по высоте кристаллизатора

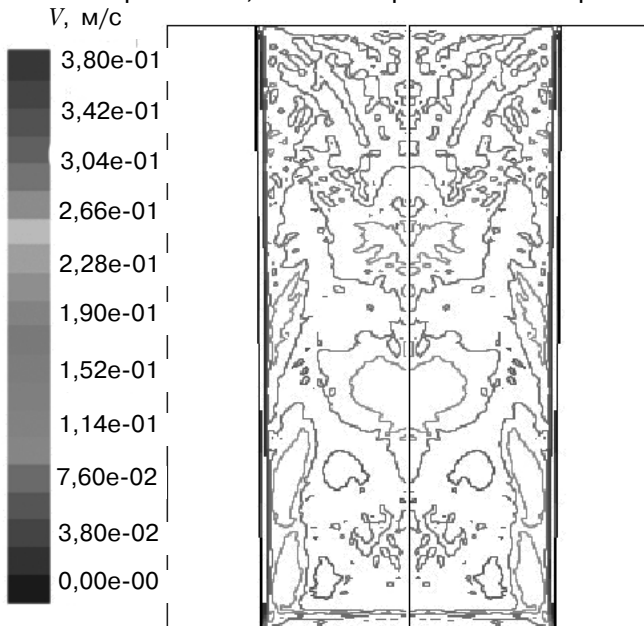


Рис. 2. Поля скоростей в центральном сечении цилиндрической заготовки в начальный момент ее затвердевания с вибрационной обработкой

Таблица 1. Распределение скоростей движения расплава по оси узких граней кристаллизатора в вертикальной плоскости, м/с

Расстояние (мм) от			
поверхности расплава	стенки кристаллизатора		
	12	26	52
50	-0,015 / ±0,10	0 / ±0,08	+0,01 / ±0,07
130	-0,03 / ±0,35	0 / ±0,20	+0,02 / ±0,15
210	-0,06 / ±0,70	0 / ±0,50	+0,04 / ±0,3

Примечание: числитель – без вибрации; знаменатель – при вибрации

Из данных таблицы видно, что действительно при вибрационной обработке отсутствуют зоны с нулевой скоростью движения расплава. Во всех точках замера локальные скорости движения расплава при вибрации значительно выше, чем в контрольном эксперименте, и меняют направление вектора скорости во времени.

Практический интерес к газоимпульсному перемешиванию затвердевающих металлических сплавов связан с тем, что оно главным образом влияет на интенсивность перемешивания расплава, которая определяется по следующей зависимости [3]:

$$N = (a + \epsilon)RG(t_1 - t_2)\rho_{cp} / \rho_{pac},$$

где G – массовый расход вводимой среды; t_1 и t_2 – температуры среды и расплава; a и ϵ – коэффициенты расхода вводимой при обработке струи; R – универсальная газовая постоянная; ρ_{cp} , ρ_{pac} – плотности вводимой среды и расплава.

Из данной зависимости видно, что наиболее мощный режим перемешивания получается при соблюдении условия $\rho_{cp} / \rho_{pac} \approx 1$. При этом необходимо контролировать частоту собственных и вынужденных колебаний в системе колонна-кристаллизующийся объект, время перемешивания жидкости, сечение колонны и глубину ее погружения в расплав. Интенсивность перемешивания определяется отношением вынужденной частоты ω к собственной частоте колебаний системы $\omega_{соб}$.

Анализ гидродинамических процессов при газоимпульсной обработке расплава камфена на физической модели показывает, что она вызывает развитие мощных крупномасштабных вихрей (рис. 3, а, б), последовательно распространяющихся от выходного сечения трубки до нижней кромки кристаллизатора. При этом направление движения расплава в вихрях зависит от типа разливочного стакана. Мощные вихри захватывают локальные объемы расплава из окружающей среды, увеличивая тем самым область вовлеченного в перемешивание жидкого металла. Возникающее при этом силовое воздействие на границу затвердевания расплава вызывает разрушение дендритов.

Скорость движения расплава и форма вихрей зависят от типа разливочного стакана (табл. 2). Интенсивность перемешивания расплава и силовое воздействие вихрей на окружающую среду определяются их структурой, скоростью вращения и устойчивостью. При больших значениях угловой скорости по оси вихря образуется концентрированная область разрежения. Образующиеся в этой области пузырьки схлопываются, что приводит к возникновению ударных волн, направленных к границе затвердевания заготовки.

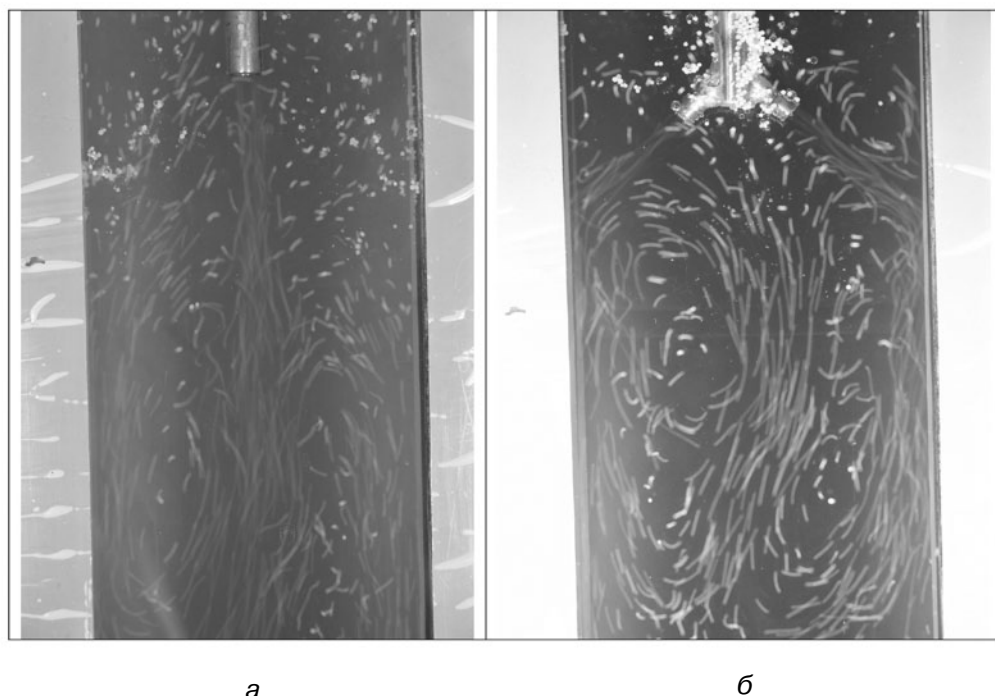


Рис. 3. Распределение потоков расплава в кристаллизаторе при разливке с газоимпульсным перемешиванием: а – прямоточный стакан; б – стакан с боковыми отводами

Таблица 2. Распределение скоростей движения расплава (м/с) по оси узких граней кристаллизатора в вертикальной плоскости

поверхности расплава	Расстояние (мм) от					
	стенки кристаллизатора					
	12		26		52	
ПС	СБО	ПС	СБО	ПС	СБО	
50	-0,01 / -0,02	+0,03 / +0,05	0 / 0	0 / ±0,03	+0,06 / +0,08	-0,02 / -0,04
130	-0,02 / -0,03	+0,05 / +0,07	0 / 0	0 / ±0,04	+0,04 / +0,06	-0,04 / -0,06
210	-0,03 / -0,05	+0,07 / +0,09	0 / 0	0 / ±0,05	+0,03 / +0,05	-0,06 / -0,08

Примечание: числитель – без перемешивания; знаменатель – с перемешиванием; ПС – через прямоточный стакан; СБО – через стакан с боковыми отводами

Из анализа данных табл. 2 следует, что газоимпульсным перемешиванием жидкого металла при разливке через погружной стакан с боковыми отводами (в отличие от прямоточного стакана) можно вовлечь в вихревое движение практически весь объем расплава. Об этом свидетельствует отсутствие в жидкой лунке кристаллизатора зон с нулевой скоростью расплава. При этом абсолютные значения скоростей движения расплава из-за одинаковой направленности векторов скоростей естественной и вынужденной конвекций выше, чем при разливке через прямоточный стакан.

Таким образом, экспериментальные исследования с использованием методов физического моделирования показывают перспективность применения вибрации и газоимпульсного перемешивания расплава для интенсификации гидродина-

мических процессов, происходящих в жидкой лунке непрерывнолитых заготовок. Интенсификация гидродинамических процессов, безусловно, приводит к усилению теплообменных процессов в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения при формировании заготовок, что способствует повышению производительности МНЛЗ.



Список литературы

1. Методика изучения формирования блюмовой непрерывнолитой заготовки в условиях внешних воздействий / А. С. Нурадинов, А. С. Эльдарханов, Е. Д. Таранов, С. Х. Аржиев // Сталь. – 2013. - № 8. – С. 23-25.
2. Влияние вибрационной обработки на параметры затвердевания стальной заготовки / Н. И. Тарасевич, А. С. Нурадинов, Е. Д. Таранов и др. // Процессы литья. – 2006. – №1. – С. 64-69.
3. Вихревая структура расплава и взаимодействие с ванной / В. А. Перелома, В. Л. Найдек и др. // Процессы литья. – 1990. – № 2. – С. 4-11.

Поступила 10.07.2014

Вниманию авторов!

*Статьи, поступающие в редакцию, должны иметь аннотации и ключевые слова на русском, украинском и английском языках. Объем статьи – не более **10 стр.**, рисунков – не более **5**.*

*Статьи подаются как на бумажном, так и электронном носителях. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов – формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.*

Статьи в редакции проходят научное рецензирование.