
ГИДРОДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

УДК621.771.23.669.71

**А. В. Ноговицын, И. Р. Баранов, В. А. Назаренко*,
А. М. Машкин**

*Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев
Институт материаловедения НАН Украины, Киев

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ВАЛКОВОЙ РАЗЛИВКЕ

Проведены исследования по изучению поля скоростей модельной жидкости в межвалковом пространстве двухвалковой установки с вертикальной подачей жидкости.

Ключевые слова: валковая разливка-прокатка, межвалковое пространство, гидродинамика течения расплава, поле скоростей жидкости, гидродинамическая модель.

Проведено дослідження з вивчення розподілу швидкостей модельної рідини в міжвалковому просторі двовалкової установки з вертикальною подачею рідини.

Ключові слова: валкова розливка-прокатка, міжвалковий простір, гідродинаміка течії розплаву, поле швидкостей рідини, гідродинамічна модель.

It was, conducted studies on the distribution of the velocity field of the fluid in the roll model the space of a vertical twin roll feed liquid.

Keywords: roller casting-rolling, the roll space, hydrodynamics of the melt flow, the velocity field of the fluid, hydrodynamic model.

Высокая степень всестороннего развития методов непрерывного литья металла, а также накопленная за последние десятилетия теоретическая и экспериментальная база знаний, позволили разработать усовершенствованную технологию получения тонкого листа путём валковой разливки-прокатки [1]. Эта технология существенно снижает энергозатраты производства, а также не требует высоких капиталовложений в сравнении с традиционными способами получения тонких листов методом непрерывного литья [2].

Технология валковой разливки-прокатки позволяет получать тонкую металлическую полосу непосредственно из расплава, путём совмещения процесса литья и горячей прокатки в одну технологическую операцию. Условная схема получения листового проката с помощью двухвалковой разливки-прокатки представлена на рис. 1.

Металлургической особенностью, типичной для процесса двухвалкового

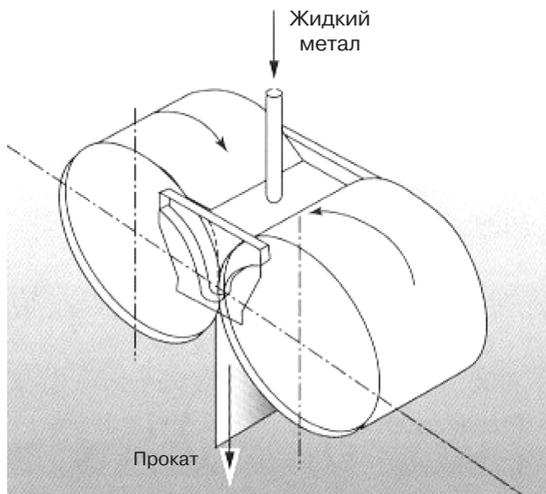


Рис. 1. Схема двухвалковой разливки-прокатки

литья, является высокая скорость затвердевания металла, которая обеспечивает мелкозернистую микроструктуру и улучшает механические свойства проката.

Для проектирования и производства двухвалковых литейных машин с оптимальными параметрами производительности и качества получаемого металлического листа, обеспечивающими их конкурентное преимущество, необходимо иметь максимально точную математическую модель, позволяющую определять основные технологические параметры процесса [3], а также физическую модель, отображающую поведение расплава металла в межвалковом зазоре.

Такие модели позволяют установить закономерности гидродинамических процессов расплава и тепломассопереноса в межвалковом пространстве, что в свою очередь влияет на процессы кристаллизации металла и микроструктурные особенности готовой продукции. Изучение этих процессов на моделях позволит совершенствовать конструктивные особенности литейных двухвалковых машин, включая систему подачи металла в межвалковый зазор.

В данной работе целью проведённых исследований является изучение распределения поля скоростей модельной жидкости (вода) в межвалковом пространстве двухвалковой установки с вертикальной подачей жидкости*.

Для решения поставленной задачи использовали метод физического моделирования, основанный на положениях теории подобия.

Условная схема и фото двухвалковой установки моделирования приведены на рис. 2. Параметры опытной двухвалковой установки разливки с вертикальной подачей приведены в табл. 1.

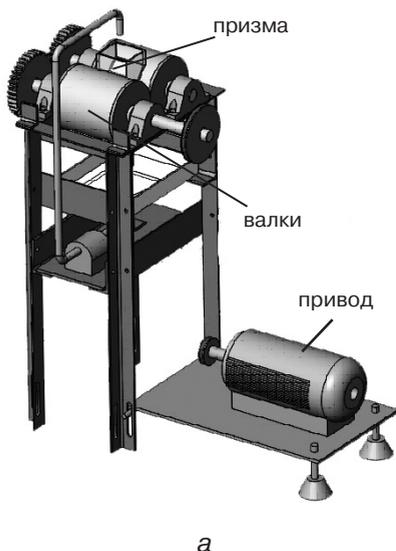


Рис. 2. Эскизная схема (а) и реальная двухвалковая установка (б)

*Исследование выполнено при содействии член-корреспондента АН Украины К. А. Гогаева и канд. техн. наук Б. С. Гончара

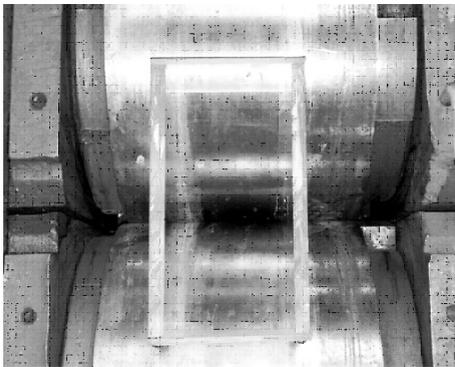
Для устойчивой фиксации жидкости в межвалковом пространстве использовали прозрачную призму, изготовленную из оргстекла (рис. 3), стенки которой повторяли геометрию окружности бочки валков.

В качестве моделирующей жидкости использовали воду. Физические параметры реальной и модельной жидкостей приведены в таблице 2.

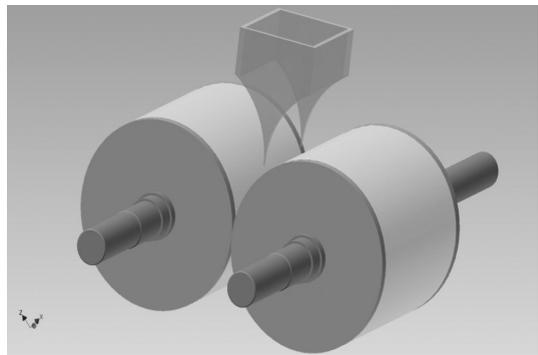
Визуализацию потоков осуществляли при помощи добавления в воду полистироловых шариков (трассеров)

Таблица 1. Параметры опытной двухвалковой установки

Техническая характеристика	Значение
Размеры валка, мм: - внешний диаметр - ширина бочки	300 200
Материал валка	сталь
Угол контакта жидкости с валком, град	10, 20, 30, 40
Высота налива жидкости, мм	27, 53, 80, 110
Скорость вращения, м/мин (м/с)	15,6 (0,26)



а



б

Рис. 3. Призма для удержания жидкости в межвалковом зазоре: реальная (а) и аксонометрическая модель (б)

Таблица 2. Физические параметры реальной и модельной жидкостей

Параметры	Реальная жидкость	Модельная жидкость
	сталь	вода
Плотность, кг/м ³	7000	1000
Поверхностное натяжение, Н/м	1,2	0,2
Динамическая вязкость, Па·с	0,005...0,0085	0,00089
Кинематическая вязкость, м ² /с	6,3·10 ⁻⁷	9,0·10 ⁻⁷

диаметром 0,8-1,0 мм, имеющих нулевую плавучесть. Направление и скорости потоков фиксировали с помощью веб-камеры (рис. 4), имеющей следующие максимально возможные параметры фотофиксации: 8,0 Мпс, 2048x1536 точек, а также видеофиксации: 2048x1536 /15fps. Запись гидродинамической картины велась на компьютер с помощью USB-интерфейса.

Область наблюдения в межвалковом пространстве модели прозрачного бункера получали обтюрируемым пучком света. Количественные значения скоростей потоков жидкости определяли посредством расчёта отношения измеренных на экране



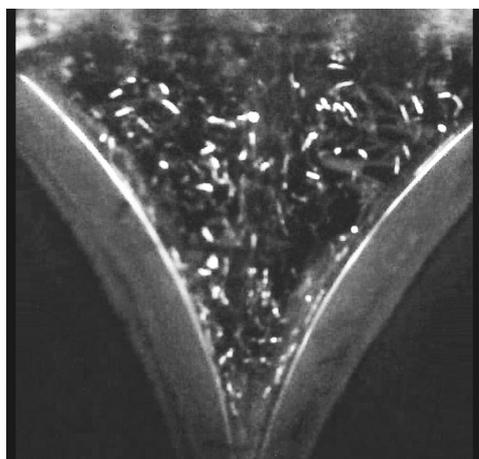
Рис. 4. Камера фиксации гидродинамических потоков моделирующей жидкости

монитора длин треков ко времени экспозиции с учётом коэффициента масштабирования.

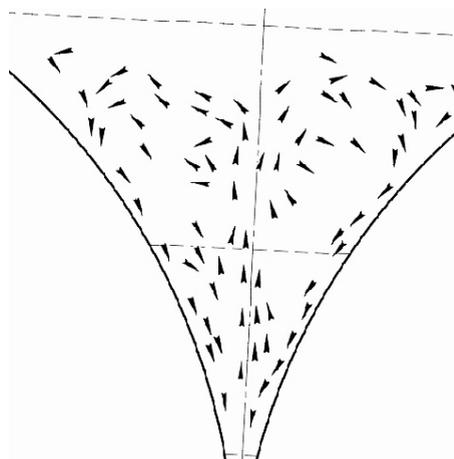
В процессе выполнения исследований было проведено несколько экспериментов с использованием воды с различной концентрацией трассеров. Наилучший результат дало использование жидкости с плотностью шариков 200 шт/литр. После получения изображения треков, было построено поле движения трассеров (рис. 5).

На основе зафиксированных параметров движения трассеров в физической модели построено векторное поле скоростей (рис. 6, а), на котором можно чётко проследить образование двух зон циркуляции.

Наибольшая скорость движения



а



б

Рис. 5. Фотоснимок треков частичек в центральной части модели (а) и полученное поле движения (б)

потока жидкости находится вблизи поверхности валков, которые нагнетают жидкость в межвалковый зазор. Обратный поток, возникающий в точке встречи поверхностных потоков и проходящий вдоль центральной оси межвалкового пространства, имеет значительно меньшую скорость.

Для сравнительного анализа результатов физического моделирования с результатами компьютерного моделирования поля скоростей жидкости в межвалковом зазоре двухвалкового кристаллизатора авторы [4] выполнили расчёты с помощью программы Comsol [5] с исходными данными, приведёнными в табл. 1 и 2, для высоты налива жидкости 110 мм (рис. 6, б). Сравнение результатов математического и физического моделирования поведения жидкости в межвалковом пространстве показало совпадение общего характера поля скоростей и возникающих зон циркуляции.

Результаты выполненных исследований дают перспективу широкого применения

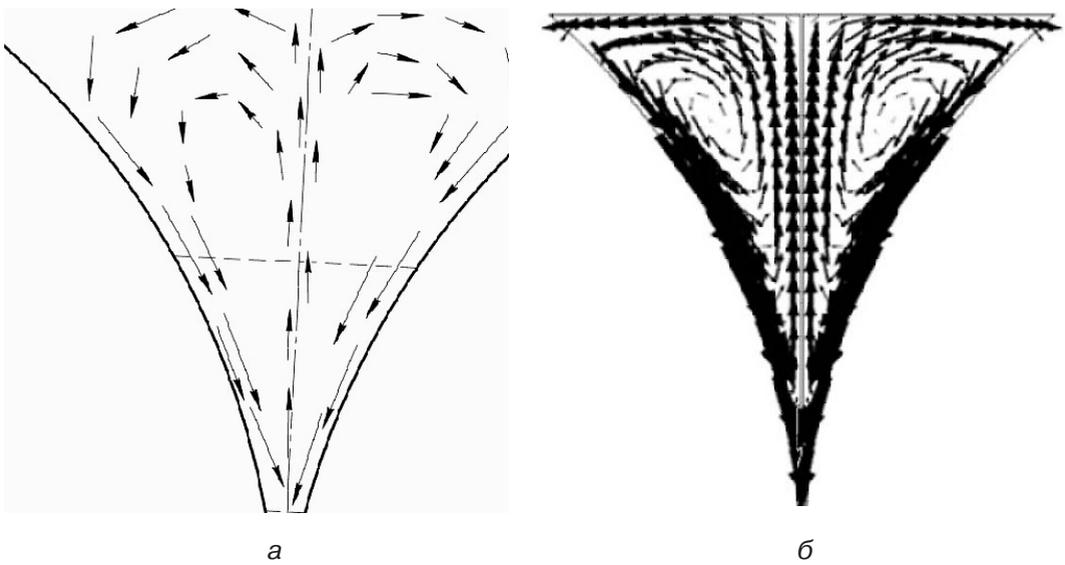


Рис. 6. Векторное поле скоростей трассеров: физическая модель (а), компьютерная модель (б)

программы Comsol для построения надёжных математических моделей течения металла в процессе валковой разливки и более глубокого понимания процессов, протекающих в межвалковом пространстве.



Список литературы

1. Ефимов, В. А. Разливка и кристаллизация стали / В. А. Ефимов. – М.: Metallurgy, 1984. – 552 с.
2. Антипин, В. Г. Прогресс в производстве тонких стальных полос / В. Г. Антипин // Бюл. Чёрная металлургия. – М.: ОАО Черметинформация. – 2002. – № 8. – С. 3-9.
3. Hideki Murakami. Modelling of Turbulent Flow, Heat Transfer and Solidification in A Twin-Roll Caster // Department of Mining and Metallurgical Engineering McGill University Montreal, Canada September 1993. – 192 p.
4. Ноговицын А. В. Компьютерное моделирование течения расплава в двухвалковом кристаллизаторе / А. В. Ноговицын, А. Д. Подольцев, И. Н. Кучерявая, Н. А. Ломко // Материаловедение и обработка металлов. – 2014. – № 2. – С. 39-46.
5. COMSOL multiphysics modeling and simulation software – <http://www.comsol.com/>

Поступила 15.04.2015