

ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ ВАЛКОВ

Рассмотрено центробежное литье листопрокатных валков. Предложена компьютерная программа для моделирования процесса заполнения вращающейся формы жидким металлом рабочего слоя, которая позволяет оценить влияние сил вращения на изменение величины рабочего слоя вдоль бочки валка. Получена зависимость положения вершины параболоида вращения от основных технологических факторов. Установлено, что увеличение расстояния меж-

ду ней и исследуемым участком металла повышает равномерность рабочего слоя вдоль бочки валка, что окажет положительное влияние на его работоспособность.

Ключевые слова: виртуальное моделирование, листопрокатный валок, параболоид вращения, рабочий слой, технологические параметры, центробежное литье, 3D-модель.

N.A.Zhizhkina, D.A. Ilyushkin, E.A. Zentsova

VIRTUAL SIMULATION OF ROLLER SPUN CASTING

The work is devoted to the virtual simulation of a sheet roll working layer formation at a technological stage "casting-solidification". To form a virtual model of a roller mould pouring and foundry solidification there was used a computer modeling system (CMS) which included initial and boundary conditions for a roller mould pouring process with high-alloy cast iron in the field of centrifugal force action. The distribution of a metal working layer along an inner surface of a rotating mould at different technological parameters: mass of high-alloy cast iron, its density, temperature and pouring velocity, temperature of metal and non-metal parts of a mould at the initial point of time, modes of rotation and conditions of mould cooling and others were investigated. It is established that under the influence of centrifugal forces a free surface of liquid melt obtains a parabolic form. The influence of basic technological parameters upon the vertex position of a paraboloid of revolution of

high-alloy liquid melt z_0 is revealed. It is shown in the paper that it stipulates for the unevenness of a working layer value along a roller barrel. As a result of computations it is obtained that the value of a working layer at lower flanks of barrels is higher than that of upper sides. The average value of such an exceeding makes 0.012 m. As a result of a simulation analysis of a foundry formation process at different technological parameters it is determined that the distance increase between the vertex of a paraboloid of revolution and the metal area investigated raises the working layer evenness along a roller barrel 3.6 times. Hence, the increase of capacity for work of a rolling tool is expected. The results of investigations presented are basic for the works for the increase of centrifugal roller servicing characteristic increase.

Key words: virtual simulation, sheet roll, paraboloid of revolution, working layer, technological parameters, spun casting, 3D model.

Введение

Валки, являясь основным рабочим инструментом в листопрокатном производстве, определяют качество и сортамент продукции, выход годного продукта и расход материалов. Поэтому они должны характеризоваться одновременно высокой твердостью, прочностью и пластичностью. При этом большое значение для наработки имеет изменение свойств по глубине прокатного инструмента [1; 2].

Изготовление листопрокатного валка, представляющего собой массивное изделие с твердым рабочим слоем и мягкой сердце-

виной, состоит в послойной заливке в литейную форму двух или более многокомпонентных сплавов, отличающихся по своим физическим и технологическим свойствам. Анализ методов производства валков [1-4] на первое место выдвигает технологию центробежного литья, разработка которой позволила применить новые высокотвердые и износостойкие материалы для рабочего слоя и в то же время обеспечить необходимую прочность сердцевины валков. Вместе с тем постоянные изменения номенклатуры металлопроката, необходимость снижения за-

трат на производство валков и рост цен на сырье, энергию требуют сокращения времени на создание новых типов формующего инструмента. В связи с этим актуальным направлением разработки валковой технологии является виртуальное моделирование.

Цель работы – разработать виртуальный технологический процесс получения валковой отливки с использованием системы компьютерного моделирования.

Анализ публикаций, касающихся объекта исследований

Современные методы моделирования литейных процессов [5] позволяют анализировать заполнение полости формы (скорость течения, давление и температура металла); определять усадку, место образования горячих трещин, пористость и коробление в изделии; оценивать микроструктуру отливки, возникновение напряжений в ней и металлической оснастке и др. При этом в программах предусмотрена возможность сортировки и параллельной обработки данных, внесенных пользователем. Соответствие виртуальных данных реальной отливке обеспечивает реализацию комплексного проектирования изделия: создание объемной модели и чертежа, выбор оптимального химического состава сплава, разработку оснастки и технологии литья и визуализацию конечного изделия до изготовления первого образца.

Методика проведения моделирования

Для прогнозирования процесса получения валковой отливки предложена модель заполнения формы (поток жидкости) и затвердевания (поток тепла) отливки в реальном масштабе времени. Для повышения точности процесса имитации учитывали такие параметры, как: химический состав сплава, его теплофизические и литейные характеристики, термическое сопротивление теплоизоляционного покрытия кокиля. Отличительной особенностью построения виртуальной валковой отливки является послойный характер ее формирования. При этом особое внимание уделено процессу распределения жидкого металла рабочего слоя вдоль внутренней поверхности вращающейся формы, поскольку его формирова-

Для достижения поставленной в работе цели необходимо решить следующие задачи:

- построить виртуальную модель процесса заполнения валковой формы жидким металлом рабочего слоя;
- проанализировать процесс формирования рабочего слоя при затвердевании валковой отливки и оценить его равномерность вдоль изделия.

Вместе с тем центробежное литье массивных валков с рабочим слоем из высоколегированного чугуна представляет собой сложный технологический процесс [1; 6; 7], состоящий из тепло-, массопереноса, фазовых и химических превращений, одновременно протекающих в системе «отливка - форма». Они отличаются динамичностью, нелинейностью, значительным разбросом интенсивности, что усложняет процесс моделирования изготовления валковой отливки. С другой стороны, все литейные процессы подчиняются единым законам физики. К ним применимы общие методы исследования и проектирования, что позволяет построить единую универсальную систему для разработки процесса изготовления валков виртуальным способом.

ние определяет эффективность работы листопрокатного вала.

Процесс кристаллизации рабочего слоя отливки моделировали с учетом заполнения формы металлом в поле действия центробежных сил, приняв ряд допущений:

- форма и жидкий металл находятся в относительном покое, т. е. угловые скорости (ω) во всех точках пространства равны;
- скорости всех частиц металла мгновенно достигают значения скорости вращения формы;
- конвективные потоки в жидком металле учитываются эффективным коэффициентом теплопроводности;
- сила тяжести частицы металла ничтожна по сравнению с центробежными си-

лами, действующими со стороны вращающейся системы «металл - форма».

Согласно принятым допущениям, процесс движения жидкого металла вокруг вертикальной оси описывается известным уравнением параболоида вращения [6]:

$$z = \frac{2\pi^2 n^2 R^2}{g} + z_0,$$

где z – текущая координата параболоида вращения, м; n – частота вращения литейной формы, 1/с; $g=9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; R – радиус вращения металла, м; z_0 – центр параболоида вращения, м.

Центр параболоида вращения z_0 определяли из уравнений касательной к параболоиду вращения в конечном числе зон по оси OZ. Решение для соответствующей массы заливки $M_{зал}$ и скорости вращения формы ω проводили в виде минимизации целевой

функции с помощью метода «золотого сечения» [6; 7]:

$$z_0 = \sqrt{\frac{M_{залит} \left(\frac{1}{\rho_{распл}} - \frac{1}{\rho_{распл_ц}} \right) - \frac{\pi}{3} R^3}{\pi \cdot Z} - \frac{\omega^2 \cdot R^2}{g}},$$

где $\rho_{распл}$ – плотность жидкого металла, кг/м³; $\rho_{распл_ц}$ – плотность вращающегося расплава, кг/м³.

На основе расчетов провели компьютерное моделирование процесса формирования рабочего слоя, затвердевающего последовательно от поверхности формы на этапе «заливка-затвердевание» (рис. 1).

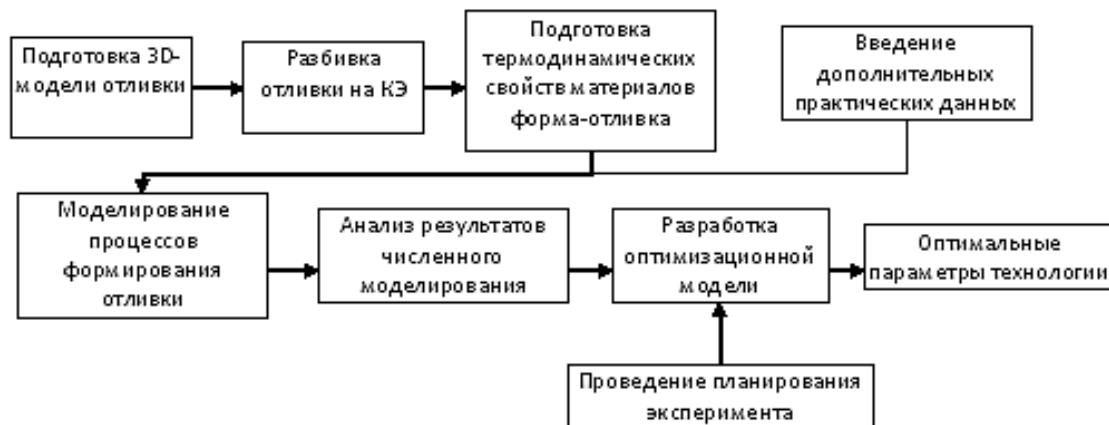


Рис. 1. Схема виртуального моделирования литья валков

Для проведения численного эксперимента были построены 3D-модели валковой

Результаты исследований

В качестве материала рабочего слоя рассматривали высоколегированный чугун. Для литейной формы применили сталь. Влияние теплоизоляционного покрытия на внутренней поверхности формы учитывали с помощью соответствующих коэффициентов теплопередачи. Для проведения необходимых расчетов вводили в программу следующие дополнительные данные: температуры заливки валковых материалов и выбивки отливки, их теплофизические харак-

отливки и формы (рис. 2).

теристики. В результате оценивали несколько вариантов изготовления отливки одновременно и с достаточной точностью.

В программе предусмотрена возможность визуализации изменений параметров виртуального процесса, их передачи, накопления и сохранения. Это позволило выбирать оптимальные решения при конструировании изделия и разработке технологии (рис. 3).

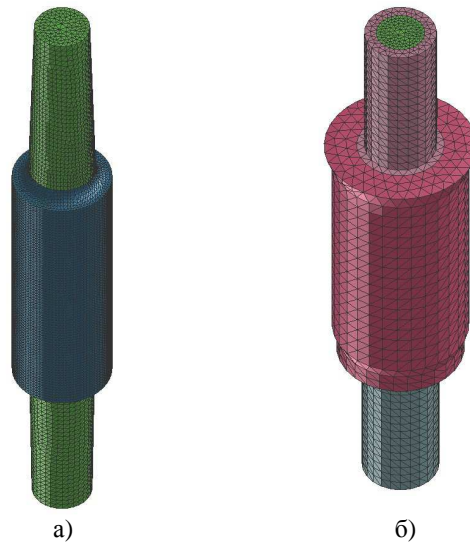


Рис. 2. Расчетные 3D-модели валковой отливки (а) и формы

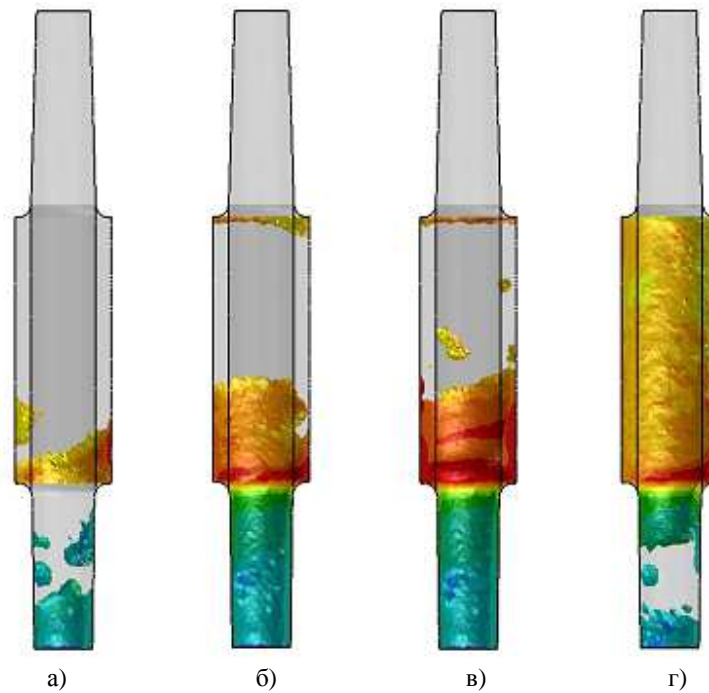


Рис. 3. Гидродинамика заполнения валковой формы расплавом рабочего слоя: а – в начале заливки ($t = 7,9$ с); б, в – в процессе заливки ($t = 19,7$ с и $t = 27,9$ с соответственно); в – в конце заливки ($t = 35,8$ с)

Процесс затвердевания рабочего слоя валковой отливки при различных параметрах заливки анализировали с помощью по-

лученной модели. Установлено, что величина рабочего слоя у нижних торцов бочек всех анализируемых отливок больше, чем у

верхних сторон. Среднее значение такого превышения составляет 0,012 м. Неравномерность рабочего слоя вдоль валковой бочки является результатом образования параболической формы при затвердевании расплава под действием центробежных сил. Увеличение величины z_0 на 0,89 м повышает равномерность рабочего слоя вдоль бочки валка в 3,6 раза.

Заключение

Для получения листопрокатных валков, стойких одновременно к износу и поломкам, разработана технология их центробежного литья, позволяющая применять современные материалы. В работе предложена компьютерная программа для моделирования процесса заполнения вращающейся формы жидким металлом рабочего слоя. Показано, что на геометрию свободной поверхности расплава рабочего слоя, определяющей его качество, влияют центробежные

силы. В результате исследований установлено, что величина рабочего слоя снижается от нижнего торца бочки к верхнему краю.

Получена зависимость положения вершины параболоида вращения Z_0 от основных технологических факторов. Имитационный анализ процесса формирования отливки при различных технологических параметрах показал, что увеличение расстояния между вершиной параболоида вращения и исследуемым участком металла повышает равномерность рабочего слоя вдоль бочки валка.

Вместе с тем возросшие объемы потребления металлопродукции на мировом рынке, ужесточение требований к ее качеству требуют улучшения эксплуатационных показателей таких валков. Поэтому научно-исследовательская работа в данном направлении продолжается.

Работа выполнена в рамках внутреннего гранта БГТУ №117 «Теоретические и технологические основы повышения работоспособности прокатных валков».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будагьянц, Н.А. Литье прокатных валков / Н.А. Будагьянц, Н.А. Жижкина // Литейное производство. – 1998. - № 7. - С. 39-40.
2. Будагьянц, Н.А. Влияние технологических параметров на качество литых заготовок двухслойных высокохромистых валков / Н.А. Будагьянц, Н.А. Жижкина // Тяжелое машиностроение. – 2001. - № 2. - С. 28-31.
3. Будагьянц, Н.А. Особенности формирования структуры и свойств рабочего слоя прокатных валков / Н.А. Будагьянц, Н.А. Жижкина // Литейное производство. – 2004. - № 9. – С. 9-11.
4. Будагьянц, Н.А. Влияние технологических параметров и химического состава на свойства рабочего слоя валков из высокохромистого чугуна / Н.А. Будагьянц, Н.А. Жижкина, Т.С. Скобло [и др.] // Сталь. – 2002. - № 3. - С.111-112.
5. Zhizhkina, N. A. The application of virtual methods for development of rolls technology / N. A. Zhizhkina, Y. I. Gutko, N. A. Taranenko // Revista de Turnătorie. Romanian Foundry Journal. – 2012. - Vol. 5-6. - P. 26-31.
6. Жижкина, Н. А. Производство центробежнолитых валков с высоколегированным рабочим слоем: монография / Н. А. Жижкина. – Луганск: Ноулидж, 2011. – 167 с.
7. Жижкина, Н. А. Технологические основы повышения качества листопрокатных валков: монография / Н. А. Жижкина. – Брянск: БГТУ, 2015. – 180 с.
1. Budagiants, N.A., Forming roll founding / N.A. Budagiants, N.A. Zhizhkina // Foundry. – 1998. - № 7. - pp. 39-40.
2. Budagiants, N.A., Technological parameter effect upon quality of casting blocks of two-layer high-chromium rollers / N.A. Budagiants, N.A. Zhizhkina // Heavy Engineering. – 2001. - № 2. - pp. 28-31.
3. Budagiants, N.A., Formation peculiarities of structure and properties of working layer in forming rolls / N.A. Budagiants, N.A. Zhizhkina Жижкина // Foundry. – 2004. - № 9. – pp. 9-11.
4. Budagiants, N.A., Influence of technological parameters and chemistry upon working layer of rollers made of high-chromium cast iron / N.A. Budagiants, N.A. Zhizhkina, T.S. Skoblo [et al.] // Steel. – 2002. - № 3. - pp.111-112.
5. Zhizhkina, N. A. The application of virtual methods for development of rolls technology / N. A. Zhizhkina, Y. I. Gutko, N. A. Taranenko // Revista de Turnătorie. Romanian Foundry Journal. – 2012. - Vol. 5-6. - P. 26-31.

6. Zhizhkina, N.A., Production of Spun Cast Rollers with High-alloy Working Layer: Monograph / N.A. Zhizhkina. – Lugansk: Noulidge, 2011. – pp. 167.

7. Zhizhkina, N.A., Technological Fundamentals for Quality Increase of Sheet Rolls: Monograph / N.A. Zhizhkina, – Bryansk: BSTU, 2015. – pp. 180.

*Статья поступила в редколлегию 10.08.2015.
Рецензент: д.т.н., профессор Брянского
государственного технического университета
Макаренко К.В.*

Сведения об авторах:

Жижкина Наталья Александровна, к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение» Брянского государственного технического университета, e-mail: litjo_snu@mail.ru.

Илюшкин Дмитрий Алексеевич, к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение»

Zhizhkina Natalia Alexandrovna, Can.Eng., Assistant Prof of the Dep. "Mechanical Engineering and Materials Science"

Bryansk State Technical University, e-mail: litjo_snu@mail.ru.

Pyushkin Dmitry Alexeyevich, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Mechanical Engineering and Materials Science"

Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 58-82-18.

Зенцова Екатерина Александровна, ст. преподаватель кафедры «Машиностроение и материаловедение» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 58-82-18.

Bryansk State Technical University, Phone: (4832) 58-82-18.

Zentsova Ekaterina Alexandrovna, Senior Lecturer of the Dep. "Mechanical Engineering and Materials Science" Bryansk State technical University, Phone: (4832) 58-82-18.