

Имитационная модель электрошлаковой тигельной плавки на жидком старте

Разработана имитационная модель электрошлаковой тигельной плавки на жидком старте, которая может быть использована студентами высших учебных заведений для изучения данного процесса. Кроме визуального моделирования, имитационная модель содержит модули проверки знаний студентов, а также позволяет автоматически рассчитать конечную оценку студента.

Ключевые слова: электрошлаковая тигельная плавка, имитационная модель, компьютерная модель, жидкий старт

Введение. Одним из эффективных способов получения металлов с высокими физико-механическими свойствами является электрошлаковый переплав. В результате электрошлакового переплава (ЭШП) металл очищается от вредных примесей, неметаллических включений и газов, а за счёт направленной кристаллизации слитка обеспечивается получение плотной структуры металла. Высокая технологическая гибкость процесса ЭШП и хорошее качество переплавляемого металла способствовали быстрому внедрению процесса не только для переплава заготовок, но и производства литья. Например, методы электрошлакового кокильного и центробежного литья основаны на накоплении жидкого металла в тигле с последующим сливом его в форму [1].

Постановка задачи. В данный момент в некоторых зарубежных странах идёт активная работа по повышению эффективности процессов ЭШП с помощью имитационного моделирования [2]. Особенно прогрессивными в данном вопросе являются такие страны как Австрия, Китай и Франция. Например, в Австрии существует университет Leoben University Modelling and Simulation of Metallurgical Processes [3], в котором занимаются созданием имитационных моделей различных металлургических процессов, в том числе и процессов ЭШП. Во Франции студенты-металлурги изучают процессы ЭШП на специальных компьютерных моделях, в которых можно наглядно увидеть протекающие во время переплава процессы, а также управлять ими. В Китае также внедряются в процессы обучения и производства разнообразные имитационные модели металлургических процессов.

В современных условиях нашей страны одним из основных факторов, влияющих на использование электрошлакового переплава в металлургии и машиностроении, является подготовка соответствующих специалистов. Изучение электрошлакового процесса студентами вузов связано с трудностями проведения реальных плавов из-за сложного экономического положения в стране. Выходом из данной ситуации могла бы стать компьютерная модель электрошлаковой тигельной плавки, с помощью которой студенты имели бы возможность исследовать процессы, протекающие при электрошлаковом переплаве, а также

получать необходимые практические навыки управления соответствующим оборудованием.

Описание модели. В связи с острой необходимостью повышения уровня знаний и навыков работы с оборудованием ЭШП выпускников вузов Украины металлургического профиля авторами была разработана имитационная модель электрошлаковой тигельной плавки (ЭШТП) на жидком старте в виде лабораторной работы на ПЭВМ. В основу модели положены формулы и соотношения, приведённые в [4], а также математические модели, созданные авторами на базе общеизвестных данных и собственных исследований.

Разработанная имитационная модель скомпилирована в один бинарный exe-файл и может быть запущена на любом персональном компьютере, работающем под управлением одной из операционных систем семейства Windows, начиная с версии Windows-98.

Имитационная модель состоит из нескольких модулей, которые запускаются последовательно при нажатии соответствующих кнопок. Ниже перечислены все модули имитационной модели, а также дано их краткое описание.

Заставка программы, которая содержит информацию о названии модели, а также информацию об организации-разработчике (рис. 1).

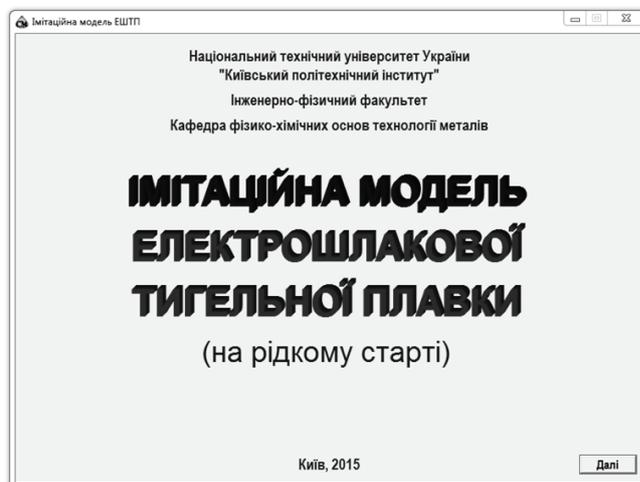


Рис. 1. Заставка компьютерной модели

Модуль исходных данных моделирования (рис. 2).

В данном модуле организована возможность ввода студентом личных данных: фамилии, имени, отчества, учебной группы, а также возможность выбора одного из двух уровней сложности – «студент» или «плавильщик». В режиме «студент» программа позволяет следить за ходом протекания процесса «в разрезе тигля», температурой жидкого шлака и массой сплавленного металла. В режиме «плавильщик» эти возможности отключены.

Также в компьютерной модели предусмотрена возможность автоматической передачи результатов моделирования на электронную почту преподавателя. Для использования этой возможности необходимо включить данную опцию, ввести пин-код студента, электронные адреса преподавателя и студента, на которые будут отправлены результаты моделирования. Таким образом, разработанная модель может быть использована не только на стационарной форме обучения, но и при дистанционном обучении. Для организации дистанционного обучения достаточно, чтобы компьютер, на котором была запущена имитационная модель, был подключен к сети интернет.

В нижней части модуля отображаются исходные параметры моделирования. Исходные параметры моделирования (марка стали, марка флюса, масса жидкого металла, необходимая температура металла, время плавки, диаметр электрода, начальная масса флюса и начальная температура флюса) генерируются автоматически случайным образом и не могут быть изменены студентом. Это позволяет получить более 1 000 000 различных вариантов заданий, что снижает до нуля вероятность получения несколькими студентами одинакового задания.

Модуль допуска к моделированию (рис. 3). Данный модуль предназначен для проверки базовых знаний студента по электрошлаковым технологиям. Для допуска к моделированию необходимо правильно ответить на 5 вопросов. Каждый вопрос имеет 4 варианта ответа. Если хоть на один вопрос будет дан неверный ответ, программа сгенерирует новые 5 вопросов и предложит ответить на них ещё раз. Только правильный ответ на все 5 вопросов позволит студенту перейти непосредственно к моделированию. Количество заданных вопросов и правильных

ответов учитываются при определении итоговой оценки за лабораторную работу.

Модуль моделирования (рис. 4). В данном модуле осуществляется процесс управления процессом ЭШТП в зависимости от заданных параметров моделирования. Основная задача студента состоит в обеспечении оптимального режима переплава, накоплении необходимого количества жидкого металла в тигле и его сливе в заданное время с заданной температурой.

Управление процессом переплава осуществляется при помощи пульта управления, в котором реализованы функции перемещения электрода вверх и вниз с двумя скоростями, а также функция управления напряжением трансформатора в диапазоне от 40 до 60 В.

Рис. 2. Модуль исходных данных моделирования

Рис. 3. Модуль допуска к моделированию

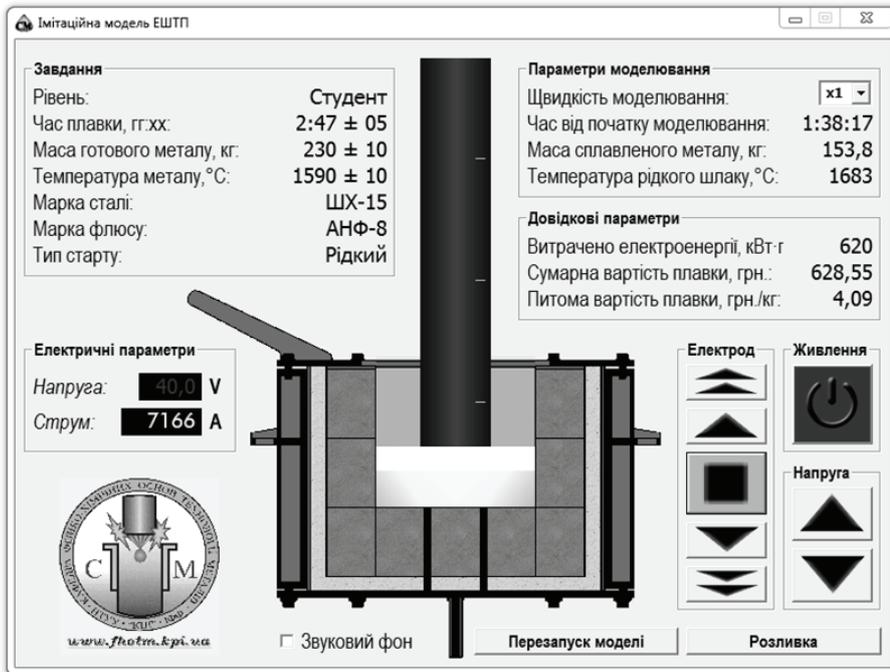


Рис. 4. Модуль моделювання

В режимі «студент» існує можливість в реальному часі спостерігати за ходом протікання процесу «в розрізі тигля», напругою на трансформаторі, силою електричного струму, часом плавки, температурою шлаку та масою наплавленого металу.

В режимі «плавильщик» в реальному часі відображаються тільки напруга на трансформаторі, сила електричного струму та час.

В моделі існує можливість змінювати швидкість моделювання в діапазоні від однієї (реальний час) до 16 секунд. Це дозволяє прискорити час моделювання для того, щоб уложитися в відведений для проведення лабораторної роботи час, а також уповільнити його в разі необхідності проведення необхідних розрахунків або в особливо відповідальні моменти плавки.

Всі допущені в процесі моделювання помилки фіксуються та враховуються при розрахунку кінцевої оцінки.

Модуль захисту (рис. 5). Після розливу рідкого металу запускається модуль захисту лабораторної роботи.

В даному модулі на екран виводиться 5 питань підвищеної складності з області технологій ЕШП з чотирма варіантами відповідей на кожне з питань.

Як і в модулі допуску, тільки правильні відповіді на всі 5 питань дозволяють студенту перейти на наступний етап та запустити модуль результатів моделювання. Правильні та неправильні відповіді на питання також враховуються при визначенні кінцевої оцінки.



Рис. 5. Модуль захисту

Модуль результатів моделювання (рис. 6). В даному модулі на екран виводиться кінцева таблиця з результатами моделювання та кінцева оцінка, яка розраховується на основі даних про кількість правильних відповідей на поставлені питання, а також даних, свідчать про якість моделювання процесу ЕШП. Кінцева оцінка виводиться в чотирьох-, дванадцяти- та стобальній (ECTS) системах оцінювання. При виборі опції надіслати результати моделювання по електронній пошті, дані кінцевої таблиці автоматично надішлються на вказану в модулі № 2 поштову адресу.

Висновки

Розроблена імітаційна комп'ютерна модель електрошлакової тигельної плавки на рідкому старті може бути використана студентами вищих навчальних закладів металургічного профілю для вивчення процесів ЕШТП, а також спеціалістами металургічних та литейних цехів для вдосконалення навичок управління обладнанням ЕШТП.

Крім візуального моделювання, комп'ютерна модель дозволяє здійснювати перевірку знань студентів по даній темі, автоматично розраховує оцінку студента та в разі необхідності автоматично надішлює результати моделювання на електронну пошту викладача.

Імітаційна модель ЕШТП

Результати моделювання і остаточна оцінка

Особові дані студента

Іванова Ольга Сергіївна ЕС-31м

Результати моделювання

Кількість правильних відповідей на питання (усього питань):	10 (10)	✓
Кількість критичних помилок та перезапущів моделі:	1 (0)	✗
Маса наплавленого рідкого металу, кг:	234 (230 ± 10)	✓
Температура металу під час розливу, °C:	1545 (1590 ± 10)	✗
Час, за який було наплавлено порцію металу, гг.хх:сс:	2:42:19 (2:47 ± 05)	✓
Витрачено електроенергії, кВт.г.:	939	
Питома вартість плавки, грн./кг.:	4,06	

Остаточна оцінка

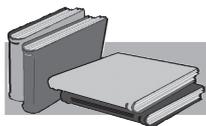
Чотирибальна система оцінок (традиційна):	3 (задовільно)
Дванадцятибальна система оцінок:	6 (3+)
Стобальна система оцінок (ECTS):	71 (D, задовільно)

Початок Кінець

Рис. 6. Модуль результатів моделювання

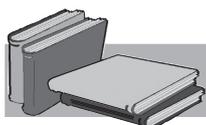
Дальнейшее усовершенствование имитационной модели может быть связано с реализацией в ней твёрдого старта, расширением ассортимента сталей и флюсов, используемых при моделировании,

а также в уточнении математических моделей, положенных в основу работы имитационной компьютерной модели.



ЛИТЕРАТУРА

1. Казачков Е. А. Электрошлаковый переплав / Е. А. Казачков, А. Д. Чепурной. – Мариуполь: ПГТУ, 1995. – Ч. 1. – 83 с.
2. Имитационное моделирование [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://steeluniversity.org/>
3. Leoben University Modelling and Simulation of Metallurgical Processes [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://smmp.unileoben.ac.at/>
4. Егоров А. В. Расчёт мощности и параметров электропечей чёрной металлургии: Учебное пособие для вузов / А. В. Егоров. – М.: Металлургия, 1990. – 280 с.



REFERENCES

1. Kazachcov E. A. Electroslag remelting. Part 1. / E. A. Kazachcov, A. D. Chepurnoy. – Mariupol: PRTU, 1995. – P. 83.
2. Imitation model [Electronic. resource]. – Access mode: <http://steeluniversity.org/>
3. Leoben University Modelling and Simulation of Metallurgical Processes [Electronic. resource]. – Access mode: <http://smmp.unileoben.ac.at/>
4. Egorov A. V. Calculation of parameters of electric power and steel industry: Textbook for Universities / A. V. Egorov. – M.: Metallurgy, 1990. – 280 s.

Анотація

Іванова О. С., Рибак В. Н., Лисюк Р. О.

Імітаційна модель електрошлакової тигельної плавки на рідкому старті

Розроблено імітаційну модель електрошлакової тигельної плавки на рідкому старті, яка може використовуватись студентами вищих навчальних закладів для вивчення даного процесу. Окрім візуального моделювання, імітаційна модель містить модулі перевірки знань студентів, а також дозволяє автоматично розрахувати остаточну оцінку студента.

Ключові слова

електрошлакова тигельна плавка, імітаційна модель, комп'ютерна модель, рідкий старт

Summary

Ivanova O., Ryibak V., Liysuyk P.

Simulation model of electroslag crucible melting on liquid start

A simulation model of electroslag crucible melting on a liquid start is developed. The developed model can be used by university students to study this process. In addition to visual simulation, a simulation model contains modules test students' knowledge and automatic calculation of a student's score.

Keywords

electroslag crucible remelting, simulation model, computer model, liquid start

Поступила 29.10.2015

**Продолжается подписка на журналы
«Металл и литьё Украины»
и «Процессы литья»
на 2016 год.**

Для подписки на журналы необходимо
направить письмо-заказ по адресу:
03680, Украина, г. Киев-142, ГСП,
бул. Вернадського, 34/1,

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины
или факсом (044) 424-35-15.

Счёт-фактура согласно заказу высылается письмом, по факсу или E-mail.

Редакция готова предоставить электронную версию журналов .

Стоимость одного журнала – 65 грн.

Годовая подписка (для Украины):

«Металл и литьё Украины» – 780 грн,

«Процессы литья» – 390 грн.

Годовая подписка для зарубежных стран – 100 \$.