

# МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 67.05

DOI: 10.18503/1995-2732-2016-14-2-101-106

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМАХ

Шеркунов В.Г.<sup>1</sup>, Редников С.Н.<sup>1</sup>, Власов А.Е.<sup>1</sup>, Тезе П.<sup>2</sup><sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия<sup>2</sup> SMS Siemag, Хильхенбах – Дальбрух, Германия

**Аннотация.** Работа посвящена изучению влияния скоростного режима подачи электролита в гальваническую ванну на качество наносимого покрытия.

В городе Челябинске расположено совместное российско-немецкое предприятие «SMS Cheltec», которое занимается нанесением защитных покрытий на медные плиты кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок. Одним из видов таких покрытий является никель-кобальтовое. Но для этого покрытия характерен дефект разнотвердости по всей площади плиты. Для изучения причин возникновения и характера распространения этого дефекта была замерена карта твердостей готового защитного слоя.

Изучение специальной литературы позволило заключить, что вероятной причиной такого дефекта является слабое перемешивание электролита в зоне контакта с плитой. Чтобы проверить эту гипотезу, был проведен математически расчет динамики движения рабочей жидкости. Моделирование производилось посредством программы «Solid Works». Результатом этого моделирования стала карта скоростей движения электролита в контактной зоне. Сравнение экспериментальных данных с картой твердостей плиты подтвердило предположение.

Для устранения данного дефекта было предложено изменить производительность подающего насоса. На основании имеющейся классической модели был проведен математический эксперимент по изменению скорости подачи электролита в ванну. При этом остальные параметры процесса остались неизменными. Повышение производительности насоса положительно повлияло на интенсивность обновления рабочей жидкости в контактной зоне. Понижение скорости подачи дало обратный эффект.

Математическое моделирование при различных скоростных параметрах продемонстрировало влияние скорости подачи жидкости на процесс нанесения гальванического никель-кобальтового покрытия.

**Ключевые слова:** МНЛЗ, кристаллизатор, дефект разнотвердости, скорость подачи электролита.

### Введение

В настоящее время более 70% всей выплавляемой стали в мире разливается с использованием машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Это объясняется высокой продуктивностью и эффективностью данного метода.

Наиболее важным и тяжело нагруженным элементом такой машины является кристаллизатор. Его функциональное назначение заключается в приеме жидкого металла, который попадает в него из промковша, и переводе периферийной части расплавленной стали в твердое состояние, благодаря интенсивному отводу тепла охлаждающей жидкостью. Работоспособность кристаллизатора является одним из основных факторов,

влияющих на экономические показатели процесса отливки стали и качество получаемой заготовки [1].

Исходя из условий эксплуатации, к материалу стенок кристаллизатора предъявляются определенные физико-механические требования. Необходимые свойства обеспечиваются использованием плит на основе меди. Но, к сожалению, данный материал не имеет достаточных прочностных свойств. В мировой практике для увеличения стойкости плит на их рабочую поверхность наносят специальные защитные покрытия.

Гальваническое (электрохимическое) нанесение защитных покрытий является самым старейшим методом повышения качества поверхности изделий. Этот процесс позволяет наносить покрытия из большого количества материалов (почти все металлы), а также обладает высокой

технологичностью. Благодаря этим особенностям гальванические покрытия нашли широкое применение в промышленности [2]. Но несмотря на изученность данного метода, гальваническим покрытиям характерны определенные виды дефектов, которые приводят к преждевременному выходу из строя кристаллизатора.

### Моделирование динамики движения электролита

В Челябинске на территории завода «Станкомаш» располагается совместное российско-немецкое предприятие «SMS Cheltec», которое занимается ремонтом и восстановлением защитных покрытий плит кристаллизаторов. Одним из видов наносимых покрытий является никель-кобальтовое. Оно обладает необходимыми механическими свойствами, но ему характерен дефект разнотвердости в горизонтальных плоскостях (рис. 1).

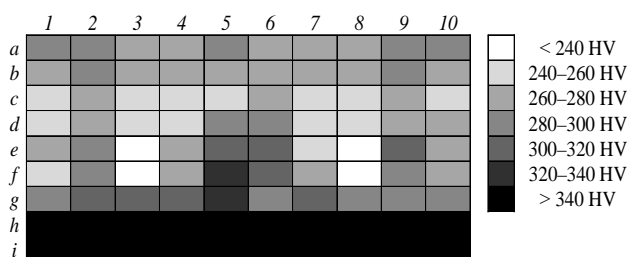


Рис. 1. Карта твердостей Ni-Co покрытия

Согласно исследованиям [3–5] причинами возникновения такого дефекта могут быть:

- некачественная предварительная подготовка поверхности плиты перед нанесением;
- высокое содержание железа в воде, используемой в техпроцессе;

- слабое перемешивание (барбатиrowание) рабочей жидкости, возникновение слоев застойного, слабо обновляемого электролита в зоне его контакта с поверхностью плиты.

Исходя из условий, что на предприятии «SMS Cheltec» ведется качественная подготовка поверхностей плит перед покрытием, а состав рабочей жидкости непрерывно отслеживается и контролируется посредством автоматизированных спектрометров, становится очевидным, что вероятной причиной возникновения разнотвердости защитного слоя является слабое перемешивание и обновление электролита в контактной зоне. Стоит отметить, что в случае ванны, используемой на предприятии «SMS Cheltec», перемешивание электролита осуществляется посредством циркуляции самой рабочей жидкости вдоль поверхности плиты.

Для проверки этой теории была разработана трехмерная модель динамики движения электролита в ванне. Схематичный чертеж гальванической ванны изображен на рис. 2 [6].

Для проверки этой теории была разработана трехмерная модель динамики движения электролита в ванне в рабочем поле программы «SolidWorks» по средствам расчетного пакета «CosmosFloWorks» (рис. 3).

Линии определяют траектории потоков, а их цвет характеризует скорость в данной точке пространства. Данная модель течения электролита позволила получить двумерное поле скоростей потоков рабочей жидкости в контактной зоне (рис. 4).

Сравним полученное в результате моделирования поле скоростей рабочей жидкости с картой твердостей нанесенного покрытия (рис. 5).

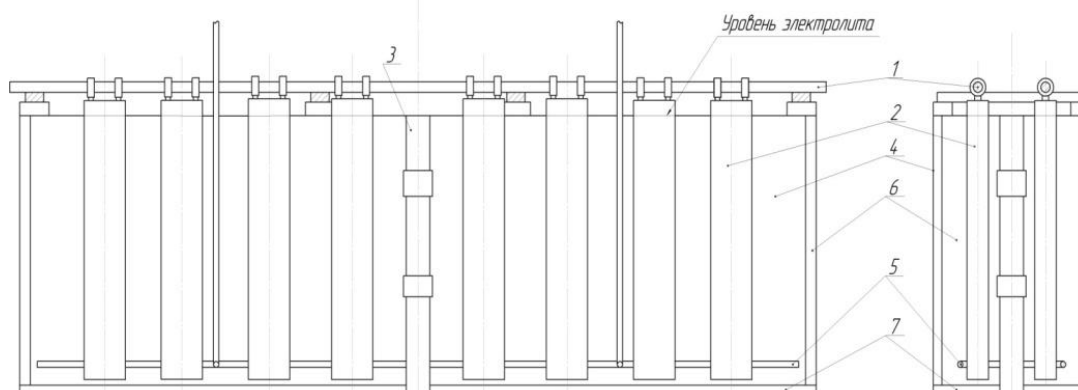


Рис. 2. Схематичный чертеж гальванической ванны по технологии «в коробе»: 1 – анодная штанга; 2 – анод; 3 – труба перелива; 4 – покрываемая медная плита (широкая стенка ванны); 5 – спрей электролита; 6 – боковая стенка ванны (не покрывается); 7 – основание гальванической ванны

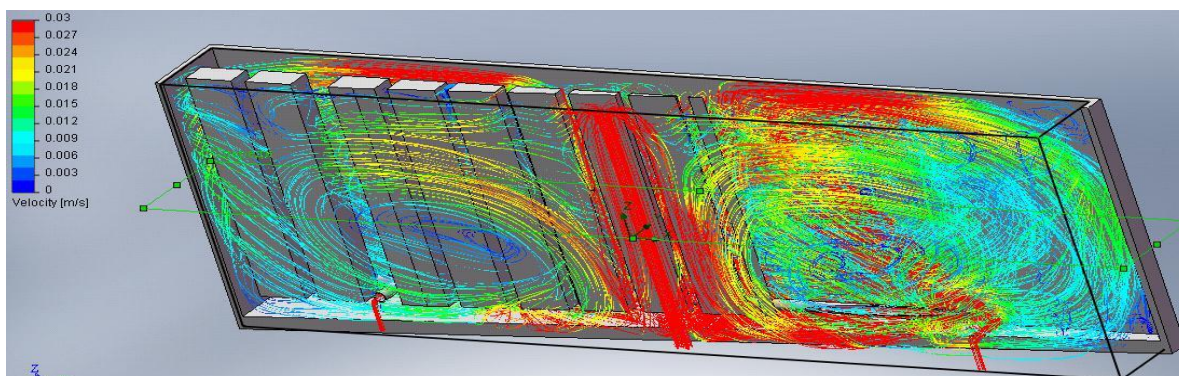


Рис. 3. Трехмерная модель течения рабочей жидкости

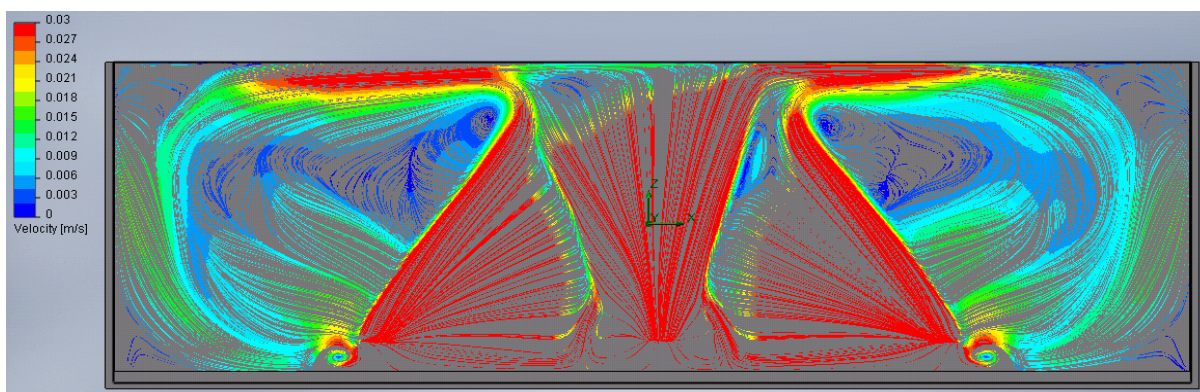


Рис. 4. Поле скоростей электролита

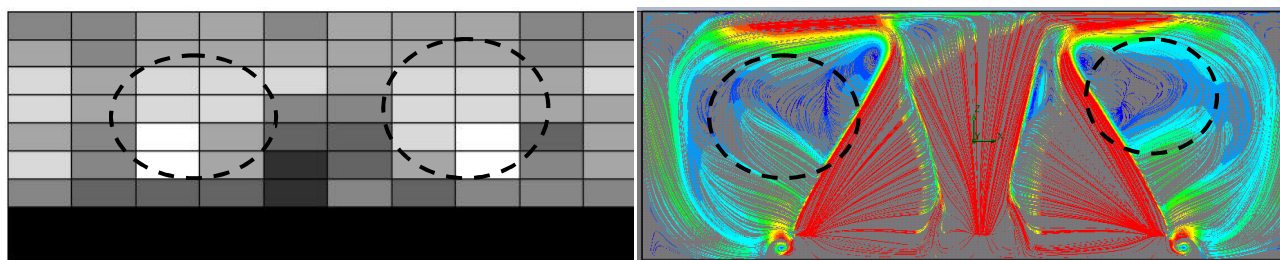


Рис. 5. Сравнение карты твердостей и поля скоростей

Сравнительный анализ карты твердостей и поля скоростей наглядно демонстрирует, что зоны пониженной твердости покрытия совпадают с застойными, слабо обновляемыми областями электролита. В зонах, где согласно математической модели имеют место максимальные скорости и интенсивности потоков, на реальном покрытии наблюдаются области с хорошим, стабильным показателем твердости.

Это позволяет заключить, что однородность наносимого гальванического покрытия напрямую зависит от интенсивности обновления электролита в контактной зоне. Следовательно, для устранения дефекта разнотвердости необходимо разработать мероприятия по изменению динамики движения рабочей жидкости по всей площади ее контакта с плитой.

Одним из таких методов является изменение скорости подачи рабочей жидкости в ванну за счет увеличения производительности насоса.

При моделировании системы циркуляции электролита учитываются: производительность насоса, температура рабочей жидкости, геометрия ванны и каналов течения электролита и все остальные факторы, которые имеют непосредственное влияние на динамику течения жидкости в расчетной зоне.

В случае ванны компании «SMS Cheltec», подача электролита осуществляется через специальные спреи (рис. 2, поз. 5), скорость подачи которых  $v_{\text{подачи}}=0,002\text{ м}^3/\text{с}$ . Увеличение скорости подачи жидкости должно повлиять на траектории потоков в контактной зоне, сгладив или вовсе устранив области слабо обновляемого электролита.

При математическом исследовании влияния скорости подачи электролита на возникновение и распространение застойных зон использовались скорости подачи 0,0033, 0,0025, 0,002 м<sup>3</sup>/с (рабочий режим), 0,00167 и 0,00143 м<sup>3</sup>/с. Для моделирования процессов с такими параметрами была использована уже готовая модель трехмерного тече-

ния жидкости, единственной изменяемой характеристикой являлась скорость подачи. Результатом данного математического исследования стали поля скоростей потоков электролита в зоне контакта с плитой, полученные при заданных параметрах. Результаты моделирования представлены на рис. 6.

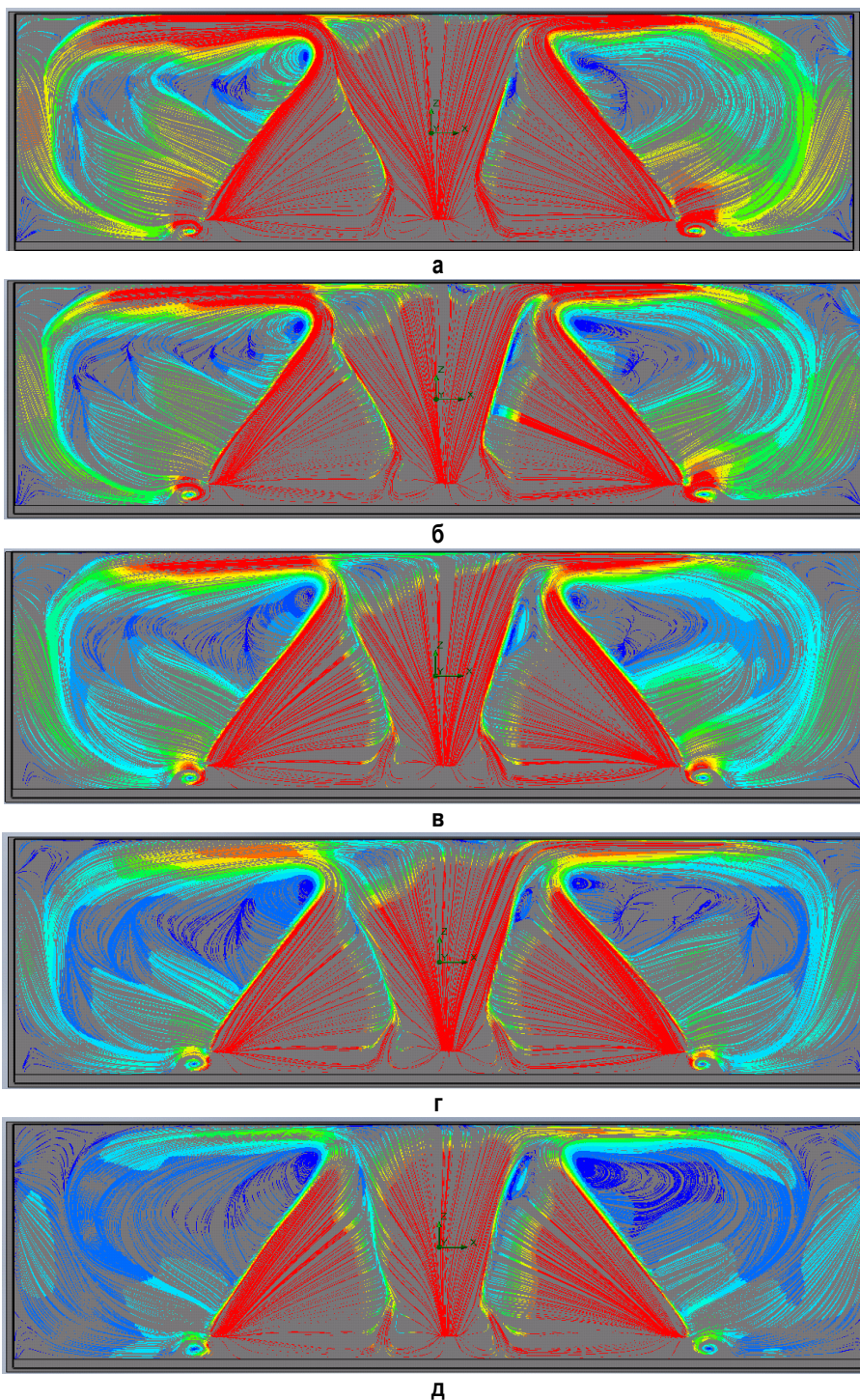


Рис. 6. Результаты математического эксперимента со скоростями подачи электролита: а –  $U_{\text{подачи}} = 0,0033 \text{ м}^3/\text{с}$ ; б –  $U_{\text{подачи}} = 0,0025 \text{ м}^3/\text{с}$ ; в –  $U_{\text{подачи}} = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}$  (рабочий режим); г –  $U_{\text{подачи}} = 0,00167 \text{ м}^3/\text{с}$  минут; д –  $U_{\text{подачи}} = 0,00143 \text{ м}^3/\text{с}$

Результаты моделирования наглядно демонстрируют влияние скорости подачи электролита на динамику его движения в контактной зоне. При увеличении подачи рабочей жидкости увеличивается концентрация и скорости потоков смеси, разглаживаются и практически исчезают осесимметричные зоны слабо обновляемого электролита. Этот же эффект наблюдается и на периферийных зонах.

### Заключение

На основании проведенного математического эксперимента можно сделать следующие выводы:

- результаты, полученные в ходе математического моделирования, практически полностью совпадают с практическими результатами замеров твердости;
- изменение производительности подающего электролит насоса напрямую влияет на динамику движения рабочей жидкости в ванне, изменяя траекторию, скорости и интенсивности

потоков в контактной зоне плиты.

На практике мероприятия по замене насосной станции на более мощную должны привести к выравниванию значений твердости плиты, а также к суммарному увеличению этих значений.

### Список литературы

1. Затуловский С.С., Демченко В.Ф., Юдович А.А. Непрерывное литье стали. М.: Металлургия. 1981. 176 с.
2. Юдин В.М., Веселовский Н.И., Батищев А.Н. Скоростное нанесение гальванических покрытий при восстановлении и упрочнении внутренних поверхностей деталей машин. М.: Машиностроение, 1986. №8. С. 22–27.
3. Mc Farlen W.T. An evaluation of electroformed nickel-cobalt alloy deposits. *Plating*, 1970, vol. 57, no. 1, pp. 46–50
4. Кругликов С.С. Исследование выравнивания микропрофиля поверхности при электроосаждении металлов. М., 1970. 346 с.
5. Информативный портал «Секреты гальваники от Галины Королевой. Заметки о гальванике. Причины нарушения качества гальванических покрытий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://blog.tep-nn.ru/?p=1389>
6. Компания «SMS Cheltec» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sms-cheltec.ru/>

Материал поступил в редакцию 29.03.16.

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-2-101-106

## MATHEMATICAL MODELLING OF ELECTROPLATING PROCESSES AT VARIOUS FLOW RATES

**Sherkunov Viktor Georgievich** – D.Sc. (Eng.), Professor, South Urals State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: [sherkunovvg@susu.ac.ru](mailto:sherkunovvg@susu.ac.ru).

**Rednikov Sergey Nikolaevich** – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, South Urals State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: [srednikov@mail.ru](mailto:srednikov@mail.ru).

**Vlasov Aleksandr Evgen'evich** – Postgraduate Student, South Urals State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: [vlasovaleksandr.74@gmail.com](mailto:vlasovaleksandr.74@gmail.com).

**Pino Tese** – Associate Professor, Executive Vice President of SMS Siemag AG, Germany. E-mail: [pino.tese@sms-siemag.com](mailto:pino.tese@sms-siemag.com).

**Abstract.** The purpose of the work is to study the effect of the electrolyte feed rate on the quality of coating.

There is SMS Cheltec in Chelyabinsk, a joint Russian and German company which does protective coatings for copper plates used in continuous casting crystallizers. A nickel-cobalt coating is one of the coating types used. An uneven hardness defect is typical of this coating which can go across the whole area of the plate. To look into what causes the defect and how it develops hardness measurements were taken and aggregated in a chart.

Through the study of specialist literature it has been determined that the defect can possibly be caused by a poorly blended electrolyte in the contact area with the plate. To verify this hypothesis mathematical mod-

elling of the working fluid dynamics was done. The Solid Works software was used for the modelling which produced a chart showing electrolyte flow rates in the contact area. Comparison of the test data with the plate hardness chart confirmed that the assumption was correct.

In order to eliminate the defect it was suggested that the feed pump discharge rate should be changed. Based on the available standard model a mathematical experiment was conducted when the electrolyte feed rate was changed with the rest of the process parameters remaining unchanged. The increased pumping rate produced a positive effect on the working fluid recirculation rate in the contact area. Reduction of the feed rate produced the opposite effect.

The mathematical modelling done at different feed rates has demonstrated that the fluid feed rate does have an effect on the nickel-cobalt plating process.

**Keywords:** CC machine, crystallizer, uneven hardness defect, electrolyte feed rate.

References

1. Zatulovskii S.S., Demchenko V.F., Judovich A.A. *Nepreryvnoe litye stali* [Continuous casting of steel]. Moscow: Metallurgiya, 1981, 176 p.
2. Yudin V.M., Veselovskii N.I., Batishchev A.N. *Skorostnoye nanoseniye gal'vanicheskikh pokritii pri vosstanovlenii i up-rochnenii vnutrennih poverkhnostey detaley mashin* [High-speed electroplating with restoration and strengthening of the internal surfaces of machine parts]. Moscow: Mashinostroenie. 1986, no. 8, pp. 22-27.
3. Mc Farlen W.T. An evaluation of electroformed nickel-cobalt alloy deposits. *Plating*, 1970, vol. 57, no. 1, pp. 46-50
4. Kruglikov S.S. *Issledovanie viravnivaniya mikroprofilya poverkhnosti pri electroosazhdenii metallov* [Study of surface microprofile improvement during a metal plating process]. Moscow, 1970, 346 p.
5. Information portal: Secrets of Electroplating from Galina Koroleva. Notes on Electroplating. Causes of compromised quality of electroplated coatings [Online resource]. Available at: <http://blog.tep-nn.ru/?p=1389>.
6. SMS Cheltec [Online resource]. Available at: <http://www.sms-cheltec.ru>

---

Математическое моделирование процессов нанесения гальванических покрытий при различных скоростных режимах / Шеркунов В.Г., Редников С.Н., Власов А.Е., Тезе П. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 101–106. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-101-106

Sherkunov V.G., Rednikov S.N., Vlasov A.E., Tese P. Mathematical modelling of electroplating processes at various flow rates. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 2, pp. 101–106. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-2-101-106

---