

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ СТАЛІ ПРИ ФІНІШНОМУ ЛЕГУВАННІ У ВИЛИВНИЦІ

У статті обговорюється технологія фінішного легування сталі при розливанні зверху та сифоном. За рахунок зменшення активності кисню в металі через порівняно нижчу від попередніх етапів сталеплавильного переділу температуру розливки досягається зменшення угару феросплавів та збільшується ступінь засвоєння корисних елементів феросплавів. Ключовим аспектом для досягнення максимальної ефективності розглянутої технології є швидке розчинення феросплавів та рівномірний розподіл легуючих компонентів у металі. Метою цього дослідження є визначення найбільш раціональної з погляду часу усереднення металу за хімічним складом технології введення добавки. Для вирішення поставленої задачі було застосовано метод фізичного моделювання на водній прозорій моделі із використанням флуоресцентного барвника. За результатами серії експериментів було визначено раціональний спосіб розливки та режим введення легуючої добавки для забезпечення найшвидшого її розподілення в металі.

Ключові слова: фізичне моделювання, фінішне легування, розливка сталі, гомогенізація.

Стан питання та постановка задач досліджень

Основною задачею введення легуючих матеріалів у виливницю під час розливання є утворення нових фаз (карбідних, нітридних, карбонітридних) та структурних компонентів, які підвищують або надають металу спеціальних властивостей. Їх введення у розплав найчастіше здійснюють у формі порошкового дроту або високолегованого сталевого дробу [1, 2]. Одним з різновидів технологій їх використання є мікролегування, під яким розуміють введення у металевий розплав невеликої до 1 кг/т кількості легуючих елементів для змінення властивостей сплаву. Специфіку операції мікролегування чавуну і сталі детально розглянуто авторами робіт [3, 4, 5, 6].

Автори роботи [7] наголошують на тому, що елементи-модифікатори в залежності від присутності у металевому розплаві інших компонентів, зокрема, азоту, кисню та надлишку вуглецю можуть утворювати нові фази з підвищеними механічними властивостями. Витрата легуючих коливається у досить широких межах 5÷30 кг/т. Зокрема ведення у струмінь металу 7 кг/т

феротитану суттєво покращує рівномірність розподілу вуглецю у поперечному перерізі заготовки [8].

Одним з ефективних напрямків розвитку є технологія фінішного легування металів у виливниці. Раніше було показано в роботах [9] введення рідкоземельних металів в рідку сталь в процесі електрошлакового кокільного лиття сприяє зменшенню забрудненості неметалевими включеннями. В результаті модифікування спостерігається зміна морфології, зменшення загальної кількості і розмірів неметалевих включень. Неметалеві включення набувають переважно глобулярну форму. Модифікування мішметалевої церієвої групи в процесі ЕКЛ стали 4Х5МФС виробляти до значного підвищення ударної в'язкості і пластичності.

Раніше проводилися дослідження тільки по дослідженню видалення неметалевих включень з розплаву у виливниці [10] в цій статті автори вивчали вплив параметрів розливання на видалення неметалевих включень у виливниці, також вивчалось формування неметалевих включень при розливанні через оголення дзеркала металу в виливниці [11], дослідження по розподіленню неметалевих включень в залежності від їх розміру [12], а вивчення видалення методом гомогенізації в самій виливниці вивчено не було.

Важливим показником реалізації запропонованої технології є легування сталі у виливниці для отримання сталі певної марки в малих об'ємах.

Метою дослідження визначити раціональне місце введення легуючих в об'єм розплаву і спосіб розливання, для найкращого розчинення.

Методика проведення досліджень

Схема експериментальної установки зображена на рисунку 1. Установка складалася з моделі виливниці у масштабі 1:3,5 з сифонною та верхньою розливками, над виливницею була проведена трубка, що імітує модель розливного стакану сталерозливного ковша, для подачі води зверху, яку можна було перемістити для розливки зверху або сифоном. При моделюванні розливки зверху отвір у дні виливниці закупорювали.

Для імітування розчинення легуючої добавки у сталі використали ультрафіолетовий барвник Losa glow (мальтодекстрин, рибофловін). Для підсвічування барвника з обох боків виливниці були встановлені ультрафіолетові лампи, потужністю 40 Вт і з довжиною хвилі 365 Нм кожна. Зйомка здійснювалась на камеру з роздільною здатністю 1280×720, яка була встановлена на штатив. В ході кожного експерименту змінювалось місце введення барвника (центр, 50% радіусу і під стінку виливниці) і момент введення (25%, 50%, 75%, 98% висоти наповнення виливниці). Було проведено три серії дослідів з різним способом розливки та введення барвника:

1) розливання зверху з введенням барвника у виливницю; 2) розливання сифоном з введенням барвника у виливницю; 3) розливання сифоном з введенням барвника у центрову. Після проведення експериментів, за відзнятими відео, визначали час гомогенізації від моменту введення барвника. За час повної гомогенізації приймали момент рівномірного забарвлення усього об'єму рідини.

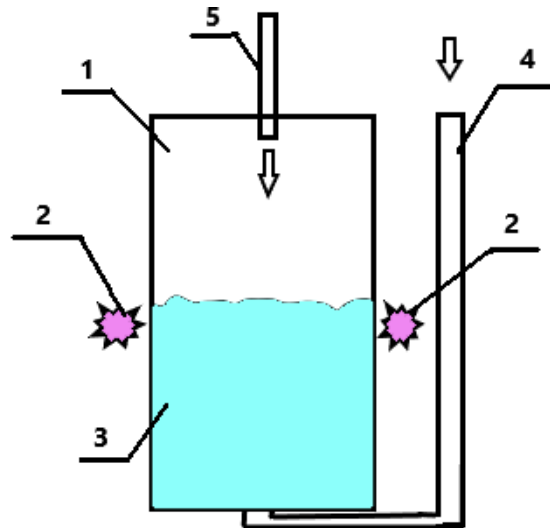


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки:
1 – виливниця; 2 – ультрафіолетові лампи; 3 – вода; 4 – центрова;
5 – модель розливного стакану сталерозливного ковша

Результати

За результатами проведених експериментів було побудовано графік залежності часу повного усереднення від рівня рідини при введенні барвника для кожної з трьох серії дослідів (рисунок 2).

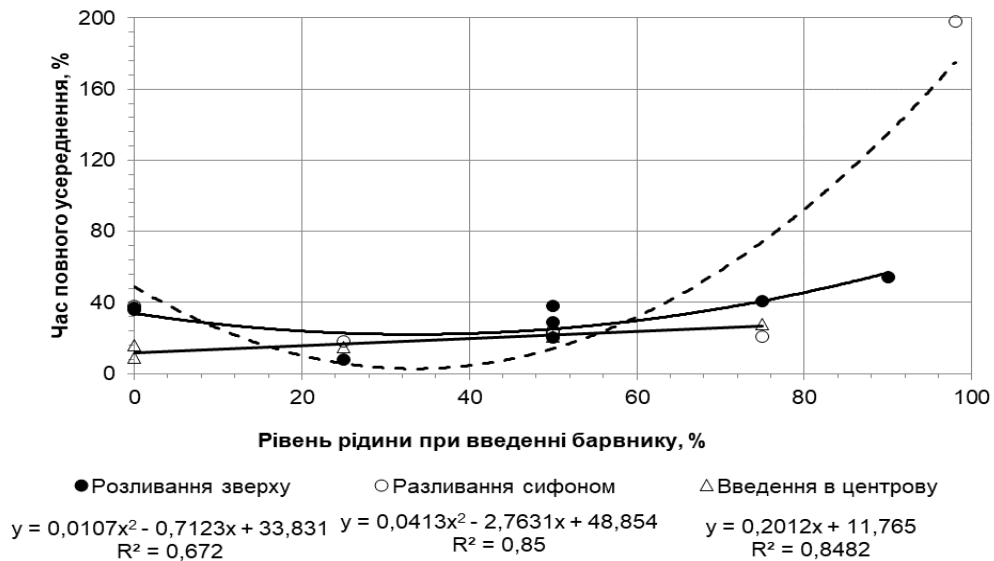


Рисунок 2 – Залежність часу повного усереднення від рівня рідини при введенні барвника

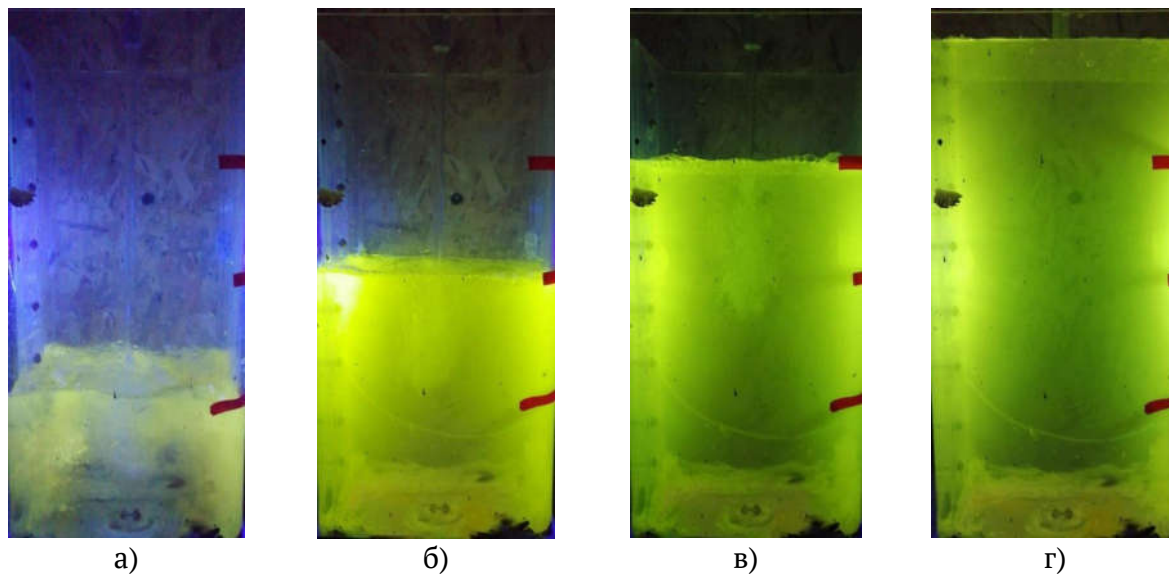


Рисунок 3 – Розливка зверху, введення зверху на 25% наповнення, а) момент введення. Концентрація і розчин барвнику на б) 50%, в) 75%, г) 100% наповнення

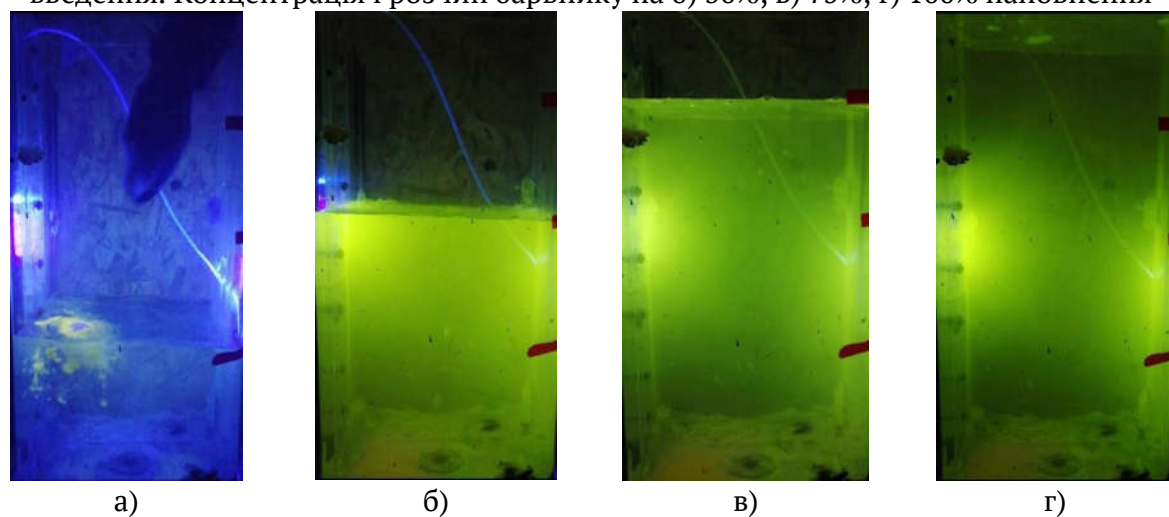


Рисунок 4 - Розливка сифоном, введення зверху на 25% наповнення, а) момент введення. Концентрація і розчин барвнику на б) 50%, в) 75%, г) 100% наповнення

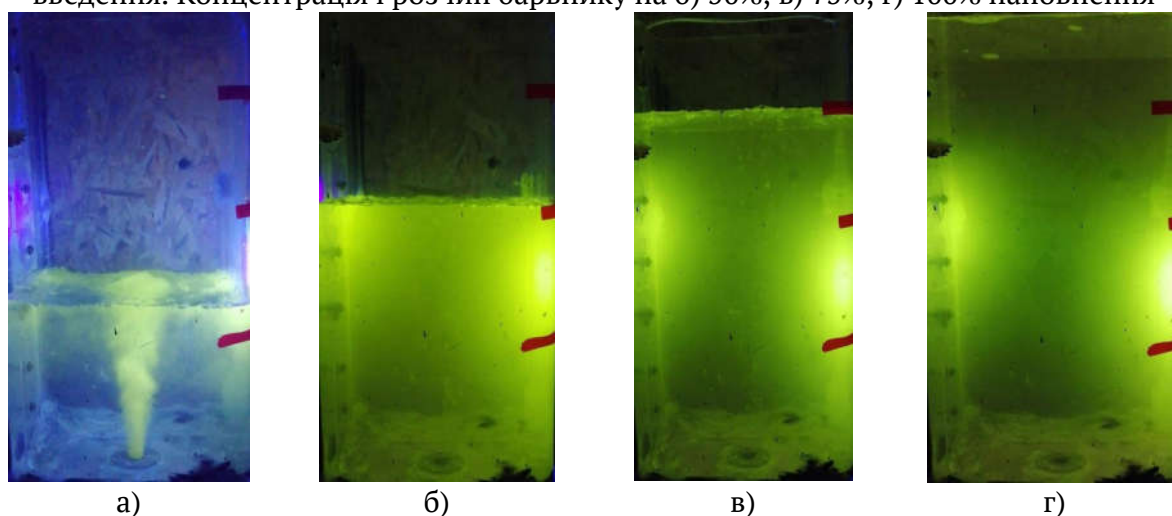


Рисунок 5 - Розливка сифоном, введення у центрову перед наповненням, а) момент подачі рідини. Концентрація і розчин барвнику на б) 25%, в) 75%, г) 100% наповнення

По графіку було проаналізовано, що усереднення барвнику більш ефективно при меншому рівню рідини в виливниці, адже перемішування відбувається завдяки потокам рідини в виливниці, чим вищий рівень рідини у виливниці, тим потоки перемішування слабші. На графіку спостерігається мінімізація часу усереднення при оптимальному рівні рідини. Для розливання зверху та сифоном з додаванням барвника у виливницю оптимальний рівень складає 33%. При введенні барвника у центрову відбувається незначне прямо пропорційне збільшення часу повного усереднення зі збільшенням рівня рідини у виливниці. Серед проаналізованих способів розливання сталі найефективнішим з погляду гомогенізації легуючої добавки є розливання сифоном. На рисунку 3-5 зображено кадри з забарвленням рідини на різних етапах наповнення виливниці при введенні барвника на рівні 25% від висоти виливниці.

Висновки

За результатами дослідження було встановлено, що для розливання зверху вводити легуючі на оголене дзеркало металу слід при оптимальному рівні рідини 33%. При розливанні сифоном легуючі оптимально вводити у центрову перед розливанням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васильева М.Г. Суспензионное легирование углеродистой стали марганцем / М.Г. Васильева // Литьё с применением инокуляторов. – К.: Институт проблем литья АН УССР, 1981. – С. 52-56.
2. Зайденберг А.М. Микролегирование высокопрочного чугуна в процессе суспензионного модифицирования / А.М. Зайденберг, Л.А. Солнцев // Литьё с применением инокуляторов. – К.: Институт проблем литья АН УССР, 1981. – С. 113-116.
3. Ефимов В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов / В.А. Ефимов, В.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с.
4. Гольдштейн Я.Е. Проблемы модифицирования стали / Я.Е. Гольдштейн, В.Г. Мизин // Литьё с применением инокуляторов. – К.: Институт проблем литья АН УССР, 1981. – С. 168-181.
5. Зайденберг А.М. Микролегирование высокопрочного чугуна в процессе суспензионного модифицирования / А.М. Зайденберг, Л.А. Солнцев // Литьё с применением инокуляторов. – К.: Институт проблем литья АН УССР, 1981. – С. 113-116.
6. Троцан А.И. Теория и практика микролегирования с учётом межкристаллитной внутренней адсорбции / А.И. Троцан, И.Л. Бродецкий, А.И. Иценко. – К.: «КИМ». – 2009. – 272 с.
7. Дерябин А.А. Исследование эффективности процессов раскисления, модифицирования и микролегирования рельсовой стали / А.А. Дерябин, А.Б. Добужская // Сталь. – 2000. – №11. – С. 38-43.
8. Влияние микродобавок на химическую неоднородность в литом и деформированном металле / А.И. Манохин, В.Н. Шоршин, Ю.Е. Канн [и др.] // Непрерывная разливка стали. – М.: Металлургия, 1974. – №2. – 143-146.
9. Research of the Effect of Modification on the Structure and Properties of Castings from Steel H11 Obtained by Using Electrosfining Technology / N. V. Larionova, A.M. Tokmin, V.S. Kazakov, O.A. Masansky // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2019. - №12(5). – P. 599-606.

10. Modeling of the Floating of Non-metallic Inclusions when Pouring Steel into a Mold in Top Casting / R.P. Andriukhin., I. Mamuzic, L S.Molchanov, Y.V. Synehin // Journal of Engineering Sciences. – 2020. - № Volume 7 (2). – P. 22-26.
11. An Experimental and Numerical Study of the Free Surface in an Uphill Teeming Ingot Casting Process / J. Yin, S. Guo, M. Ersson, P. G. Jönsson // FULL PAPER. – 2020. DOI: 10.1002/srin.201900609
12. Model for Inclusion Precipitation Kinetics During Solidification of Steel Applications in MnS and TiN Inclusions / Q. Shu, V.V. Visuri, T. Alatarvas, T. Fabritius // Metallurgical and Materials Transactions b. – 2020.

REFERENCES

1. Vasil'yeva M.G. Suspensionnoye legirovaniye uglerodistoy stali margantsem (Suspension alloying of carbon steel with manganese) / M.G. Vasil'yeva // Lit'yo s primeneniym inokulyatorov (Casting with the use of inoculators). – K.: Institut problem lit'ya AN USSR, 1981. – S. 52-56 (in Russian).
2. Zaydenberg A.M. Mikrolegirovaniye vysokoprochnogo chuguna v protsesse suspensionnogo modifitsirovaniya (Microalloying of high-strength cast iron in the process of suspension modification) / A.M. Zaydenberg, L.A. Solntsev // Lit'yo s primeneniym inokulyatorov (Casting with the use of inoculators). – K.: Institut problem lit'ya AN USSR, 1981. – S. 113-116 (in Russian).
3. Yefimov V.A. Fizicheskiye metody vozdeystviya na protsessy zatverdevaniya splavov (Physical methods of influence on the processes of solidification of alloys) / V.A. Yefimov, V.S. El'darkhanov. – M.: Metallurgiya, 1995. – 272 s (in Russian).
4. Gol'dshteyn YA.Ye. Problemy modifitsirovaniya stali (Problems of steel modification) / YA.Ye. Gol'dshteyn, V.G. Mizin // Lit'yo s primeneniym inokulyatorov (Casting with the use of inoculators). – K.: Institut problem lit'ya AN USSR, 1981. – S. 168-181 (in Russian).
5. Zaydenberg A.M. Mikrolegirovaniye vysokoprochnogo chuguna v protsesse suspensionnogo modifitsirovaniya (Microalloying of high-strength cast iron in the process of suspension modification) / A.M. Zaydenberg, L.A. Solntsev // Lit'yo s primeneniym inokulyatorov (Casting with the use of inoculators). – K.: Institut problem lit'ya AN USSR, 1981. – S. 113-116 (in Russian).
6. Trotsan A.I. Teoriya i praktika mikrolegirovaniya s uchotom mezhkristallitnoy vnutrenney adsorbtsii (Theory and practice of microalloying taking into account intercrystalline internal adsorption) / A.I. Trotsan, I.L. Brodetskiy, A.I. Itsenko. – K.: «KIM». – 2009. – 272 s (in Russian).
7. Deryabin A.A. Issledovaniye effektivnosti protsessov raskisleniya, modifitsirovaniya i mikrolegirovaniya rel'sovoy stali (Investigation of the efficiency of deoxidation processes, modification and microalloying of rail steel) / A.A. Deryabin, A.B. Dobuzhskaya // Stal' (Steel). – 2000. – №11. – S. 38-43 (in Russian).
8. Vliyaniye mikrodozavok na khimicheskuyu neodnorodnost' v litom i deformirovannom metalle (Influence of microadditives on chemical heterogeneity in cast and deformed metal) / A.I. Manokhin, V.N. Shorshin, YU.Ye. Kann [i dr.] // Nepreryvnaya razlivka stali (Continuous casting of steel). – M.: Metallurgiya, 1974. – №2. – 143-146 (in Russian).
9. Research of the Effect of Modification on the Structure and Properties of Castings from Steel H11 Obtained by Using Electrorefining Technology / N. V. Larionova, A.M. Tokmin, V.S. Kazakov, O.A. Masansky // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2019. - №12(5). – P. 599-606.
10. Modeling of the Floating of Non-metallic Inclusions when Pouring Steel into a Mold in Top Casting / R.P. Andriukhin., I. Mamuzic, L S.Molchanov, Y.V. Synehin // Journal of Engineering Sciences. – 2020. - № Volume 7 (2). – P. 22-26.
11. An Experimental and Numerical Study of the Free Surface in an Uphill Teeming Ingot Casting Process / J. Yin, S. Guo, M. Ersson, P. G. Jönsson // FULL PAPER. – 2020. DOI: 10.1002/srin.201900609
12. Model for Inclusion Precipitation Kinetics During Solidification of Steel Applications in MnS and TiN Inclusions / Q. Shu, V.V. Visuri, T. Alatarvas, T. Fabritius // Metallurgical and Materials Transactions b. – 2020.

Received 01.02.2021.

Accepted 11.02.2021.

**PHYSICAL MODELING OF STEEL HOMOGENIZATION
DURING FINISH ALLOYING IN THE MOLD**

The article describes the method of finish alloying steel in molds in top and bottom casting. Due to the reduction of oxygen activity in the metal due to the relatively lower casting temperature than the previous stages of steelmaking redistribution, it is achieved the reduction of the ferroalloys loss and increasing the yield of useful elements of ferroalloys. An important indicator of the implementation of the proposed technology is the alloying of steel in the mold to obtain steel of a certain brand in small volumes. The aim of the study is to determine the rational place of addition of alloys into the volume of the melt and the method of casting, for the best dissolution of alloys in steel directly in the mold. To solve this problem, the method of physical modeling on a water transparent model using a fluorescent dye that glows brightly in ultraviolet light was used. The experiment consisted of three series of with different methods of casting and introduction of dye: 1) top casting with the introduction of dye into the mold; 2) bottom casting with the introduction of dye into the mold; 3) bottom casting with the introduction of dye in the trumpet. It was analyzed that the averaging of the dye is more efficient at a lower liquid level in the mold, because mixing occurs due to the flow of liquid in the mold, the higher the liquid level in the mold, the weaker the mixing flows. The research revealed minimization of averaging time at the optimal fluid level. For top and bottom casting with the addition of dye to the mold, the optimal level is 33%. When the dye is introduced into the center, there is a slight directly proportional increase in the time of complete homogenization with an increase in the liquid level in the mold. Among the analyzed methods of steel casting, the most effective in terms of homogenization of the alloying additive is bottom casting. The color of the liquid at different stages of filling the mold with the introduction of the dye at the level of 25% of the height of the mold is analyzed.

Keywords: physical modeling, finishing alloying, steel casting, homogenization.

Андюхін Роман Павлович – аспірант, кафедра металургії чавуну і сталі, Національна металургійна академія України.

Молчанов Лавр Сергійович – к.т.н., завідувач відділом фізико-технічних проблем металургії сталі, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України.

Синегін Євген Володимирович – доцент, к.т.н., доцент кафедри металургії чавуну і сталі, Національна металургійна академія України.

Андюхин Роман Павлович – аспирант кафедры металлургии чугуна и стали, Национальная металлургическая академия Украины.

Молчанов Лавр Сергеевич – заведующий отделом физико-технических проблем металлургии стали, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальная академия наук Украины.

Синегин Евгений Владимирович – доцент, к.т.н., доцент кафедры металлургии чугуна и стали, Национальная металлургическая академия Украины.

Andriukhin Roman – PhD Student, Department of Iron and Steel Metallurgy, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Molchanov Lavr – PhD, Head of the Department of Physical and Technical Problems of Steel Metallurgy, Z. I. Nekrasov Iron & Steel Institute of NAS of Ukraine.

Synehin Yevhen – PhD, Associate Professor, Department of Iron and Steel Metallurgy, The National Metallurgical Academy of Ukraine.