

## МЕТАЛУРГІЯ СТАЛІ

УДК 669.1.017

© Харлашин П.С.<sup>1</sup>, Гаврилова В.Г.<sup>2</sup>, Григор'єва М.О.<sup>3</sup>

### ОЦІНКА СТУПЕНЮ ВПЛИВУ ДЕЗАРСЕНАЦІЇ СТАЛІ 10Г2Б НА ЇЇ СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ

На основі дослідження зразків сталі 10Г2Б, за результатами 8 плавок, розглянуто вплив миш'яку на комплекс її властивостей. З цією метою виконано аналіз мікроструктури і фрактограм зламів ударних зразків з різним ступенем дезарсенації, наведено результати механічних випробувань, виконана оцінка схильності сталі до крихкого руйнування. Показано, що миш'як, який міститься в руді та який переходить у сталь у масових кількостях до 0,15%, не робить шкідливого впливу на якість сталі, що містить ніобій.

**Ключові слова:** дезарсенація, миш'як, ніобій, сталь, руйнування, мікроструктура.

*Харлашин П.С., Гаврилова В.Г., Григор'єва М.О. Оценка степени влияния дезарсенации стали 10Г2Б на ее структуру и свойства. На основе исследования образцов стали 10Г2Б, по результатам 8 плавок, рассмотрено влияние мышьяка на комплекс ее свойств. С этой целью выполнен анализ микроструктуры и фрактограмм изломов ударных образцов с разной степенью дезарсенации, приведены результаты механических испытаний, выполнена оценка склонности сталей к хрупкому разрушению. Показано, что мышьяк, содержащийся в руде, переходящий в сталь в массовых долях до 0,15%, не оказывает вредного влияния на качество ниобийсодержащей стали.*

**Ключевые слова:** дезарсенация, мышьяк, ниобий, сталь, разрушение, микроструктура.

*P.S. Kharlashin, V.G. Gavrylova, M.O. Grigoreva. Assessment of the impact of steel dezarsenation 10Г2Б on its structure and properties. On the basis of examination of samples of steel 10Г2Б, the results of 8 heats, arsenic is considered the influence of the complex of its properties. Completion of the microscopic analysis of the investigated samples of steel has shown that regardless of the degree dezarsenation  $\alpha_{As}$ , ferrite pearlite structure is formed with a small interlamellar distance. Factual analysis revealed that cooling destroyed the samples studied to become negative temperatures, regardless of the amount of arsenic, there is destruction of viscous pit. In analyzing the results of mechanical tests established that 10Г2Б steel containing arsenic strength, ductile properties and impact strength tests at various temperatures (except  $-60^{\circ}\text{C}$ ) are as little different from those in dezarsenation steel. Thus confirmed that the degree dezarsenation 10Г2Б steel complex on the microstructure and mechanical properties slightly affected. It is shown that arsenic in amounts in the niobium steel passing from the starting ore (mass fraction of up to 0,15%), no adverse effect on the quality of this steel, which gives the basis to expand its range of applications without further remove said element.*

**Keywords:** arsenic, niobium, steel, destroying, micro-structure.

**Постановка проблеми.** Постійне підвищення вимог до конструкційних сталей викликає необхідність подальшої оптимізації процесів їх виплавки та рафінування. Тому важливою є

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

<sup>3</sup> канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

оцінка впливу ступеню деарсенізації на структуру та механічні властивості сталі, що містить ніобій, виплавленої з миш'якмістких залізних руд.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На даний час основною метою металургійного виробництва є підвищення якості металопродукції при зниженні витрат на виробництво [1]. Руди з миш'яком у своєму складі можуть містити деяку кількість легуючих елементів, які при відновленні переходять в чавун і, при подальшому переділі, в сталь [2-5]. В них міститься невелика кількість ванадію, хрому, нікелю, титану, ніобію, церію й інших елементів, що стало основою для висновку, зробленого авторами деяких робіт [5, 6], про те, що високі характеристики сталей, що виготовляються на базі цієї руди, обумовлені наявністю у неї саме цих природнолегуючих елементів, які знижують вплив миш'яку, який, на їх думку, є небажаною домішкою та підлягає видаленню зі сталі.

У спеціальній літературі досить мало даних щодо вирішення цієї проблеми взагалі, отже викликає інтерес оцінка впливу миш'яку, який може переходити у сталь з руди при виплавці, а також визначення його кількості, яка не знижує механічних властивостей металопродукції.

**Мета статті.** Аналіз структурного стану та механічних властивостей сталі 10Г2Б різних плавок залежно від ступеня видалення з них миш'яку  $\alpha_{As}$  (%) та загальна оцінка необхідності проведення деарсенізації.

**Виклад основного матеріалу.** Для перевірки доцільності видалення миш'яку з низьколегованої ніобійвмісткої сталі 10Г2Б, хімічний склад якої наведений у таблиці 1, проведені дослідження її властивостей після введення розрахункових кількостей дезарсенуючих присадок в процесі виплавки експериментальних зливок масою 18 кг. З цією метою було виконано 8 плавок з поступовим зниженням масової долі миш'яку з 0,148 до 0,003%.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваної сталі 10Г2Б за плавочним аналізом після різного ступеню дезарсенізації

№ плавки	Вміст елементів, % мас.											
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Al	Cr	Nb	Cu	As	Fe
1	0,130	0,17	1,36	0,06	0,017	0,013	0,028	0,08	0,029	0,13	0,148	інш.
2	0,145	0,14	1,44	0,06	0,020	0,015	0,030	0,07	0,022	0,13	0,105	
3	0,155	0,16	1,29	0,06	0,021	0,012	0,023	0,08	0,026	0,13	0,091	
4	0,140	0,17	1,50	0,06	0,019	0,021	0,027	0,06	0,018	0,14	0,065	
5	0,160	0,13	1,45	0,06	0,018	0,017	0,035	0,06	0,027	0,13	0,047	
6	0,145	0,17	1,36	0,06	0,021	0,022	0,022	0,06	0,019	0,13	0,026	
7	0,140	0,17	1,50	0,05	0,022	0,019	0,029	0,05	0,021	0,13	0,021	
8	0,155	0,16	1,47	0,06	0,021	0,018	0,027	0,08	0,025	0,13	0,003	

Експериментальні зливки після повного охолодження, витягання з чавунних виливниць, маркування й нагріву в силітовій печі були прокатані на лист 12÷14 мм на лабораторному стані «ДУО-300» з обтисненням 6-8 мм за 5 пропусків. З отриманих пластин виготовлені зразки для механічних випробувань відповідно до ДСТ 1497-84 та ДСТ 9464-78. Результати механічних випробувань представлені в таблиці 2.

Для аналізу мікроструктур використовувалися методи якісної та кількісної металографії [7, 8] на металографічному мікроскопі Axilo Obsever АІМАТ040. Фрактографічні дослідження виконувалися за допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ 200.

Аналіз результатів механічних випробувань на розтягнення й ударний вигин показав, що в дослідженій сталі, яка містить миш'як в межах концентрацій до 0,15% мас. і дезарсенованої шляхом введення присадки металевого кальцію до 0,021% мас., зміна межі міцності  $\sigma_b$  знаходиться на рівні значень від 510 до 560 МПа, а межі текучості  $\sigma_T$  – від 390 до 415 МПа, тобто ці характеристики практично не змінюються при стабільних значеннях показників пластичності

(відносне подовження  $\delta = 29\div 36\%$ , відносне звуження  $\psi = 55\div 65\%$ ) і практично не відрізняються від відповідних показників сталі, що не піддавалася дезарсенуючій обробці. Ударна в'язкість (КСУ) зразків сталі зі ступенем дезарсенації  $\alpha_{As} = 29\div 58\%$  дещо нижче початкової в усьому інтервалі температур випробувань, за винятком температури  $-60^\circ\text{C}$ . В результаті випробувань при такій температурі у разі ступеня дезарсенації  $58,0\%$  ударна в'язкість становиться рівною первинній і складає  $0,76 \text{ МДж/м}^2$ . При великих ступенях дезарсенації ( $\alpha_{As} \geq 68\%$ ) ударна в'язкість зразків при температурі випробувань  $+20^\circ\text{C}$  складає  $1,11\div 1,17 \text{ МДж/м}^2$ , тобто знаходиться на рівні й навіть дещо перевищує значення КСУ  $1,11\div 1,17 \text{ МДж/м}^2$  сталі з початковим вмістом миш'яку. Невелике підвищення ударної в'язкості спостерігається у сталі 10Г2Б й при температурі  $0^\circ\text{C}$ .

Таблиця 2

Вплив ступеню дезарсенації на механічні властивості сталі 10Г2Б

№ пл.	Масова частка As, %	Ступінь видалення As $\alpha_{As}$ , %	Механічні властивості								
			$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, МДж/м <sup>2</sup> , при різних температурах випробувань, °С				
							+20	0	-20	-40	-60
1	0,148	0,0	405	520÷530	33÷36	58÷65	1,11÷1,17	1,06÷1,13	1,04÷1,08	0,95÷1,00	0,69÷0,81
2	0,105	29,0	410÷415	550÷560	55÷63	55÷63	1,01÷1,23	1,04÷1,08	0,95÷1,01	0,87÷0,92	0,57÷0,70
3	0,091	36,5	410	550	57	57	1,08÷1,18	1,00÷1,15	0,94÷1,00	0,90÷0,97	0,57÷0,71
4	0,065	58,0	400÷410	530÷540	55	55	1,03÷1,09	1,03÷1,05	0,94÷1,01	0,90÷1,01	0,68÷0,81
5	0,047	68,0	390	520	55÷62	55÷62	1,11÷1,24	1,09÷1,16	1,03÷1,05	0,88÷0,94	0,59÷0,70
6	0,026	83,5	390	510÷520	60÷65	60÷65	1,09÷1,26	1,05÷1,20	0,97÷1,01	0,73÷0,93	0,61÷0,72
7	0,021	86,0	390÷440	530	59÷61	59÷61	1,15÷1,27	1,08÷1,20	1,00÷1,09	0,78÷0,89	0,59÷0,70
8	0,003	100,0	405÷410	530÷550	57÷66	57÷66	1,01÷1,12	0,99÷1,05	0,90÷1,00	0,79÷0,91	0,59÷0,71

Дослідження мікроструктури експериментальних плавок низьколегованої сталі з ніобієм показало, що вона, незалежно від ступеню дезарсенації  $\alpha_{As}$ , складається з фериту і перліту (рис. 1). Проте при малій величині  $\alpha_{As}$  в межах її значень від 0 до 29,0% перлітова складова має малу міжплощинну відстань, яка при збільшенні  $\times 350$  практично не визначається (рис. 1, а, б). При збільшенні ступеню дезарсенації до  $\alpha_{As} \geq 36,5\%$ , а отже, при зменшенні масової долі миш'яку в сталі до  $\leq 0,091\%$  As, в перліті виявлені пластини цементиту і фериту, що чергуються. Такий саме ефект спостерігається і в сталі аналогічного складу, виплавленій з руди, що не містить миш'яку (рис. 1, з).

Для оцінки впливу ступеню дезарсенації низьколегованої сталі на її схильність до крихкого руйнування виконане визначення долі волокнистою складовою в зламі досліджуваних зразків за фрактограмами (рис. 2, 3), по якій оцінювалися верхня критична температура –  $T_k^g$ , що відповідає 90% волокнистого зламу, та нижня критична температура  $T_k^h$ , яка відповідає 10% волокнистого зламу. Результати досліджень наведені на рис. 4, з якого видно, що критичні температури практично не змінюються від міри дезарсенації і складають  $T_k^g = 17^\circ\text{C}$  та  $T_k^h = -60^\circ\text{C}$ .

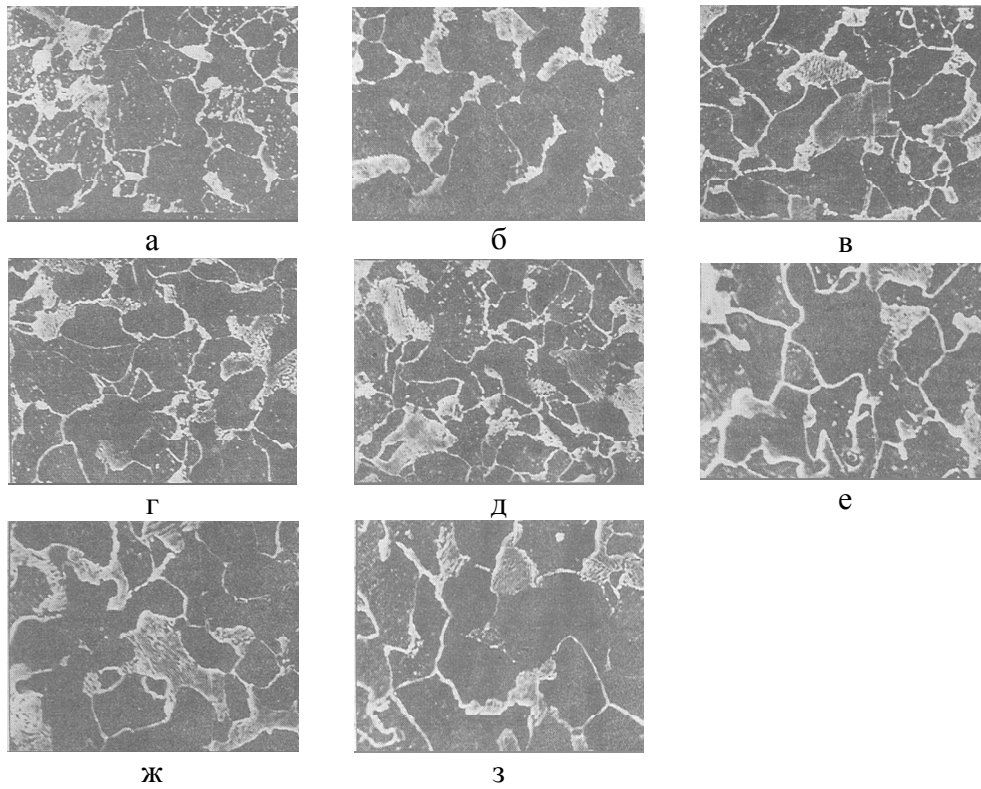


Рис. 1 – Мікроструктура сталі 10Г2Б з різним ступенем дезарсенації  $\alpha_{As}$  (%) у поляризованому світлі ( $\times 350$ ): а – 0%; б – 29,0%; в – 36,5%; г – 58,0%; д – 68,0%; е – 83,5%; ж – 86,0%; з – з руди без миш'яка

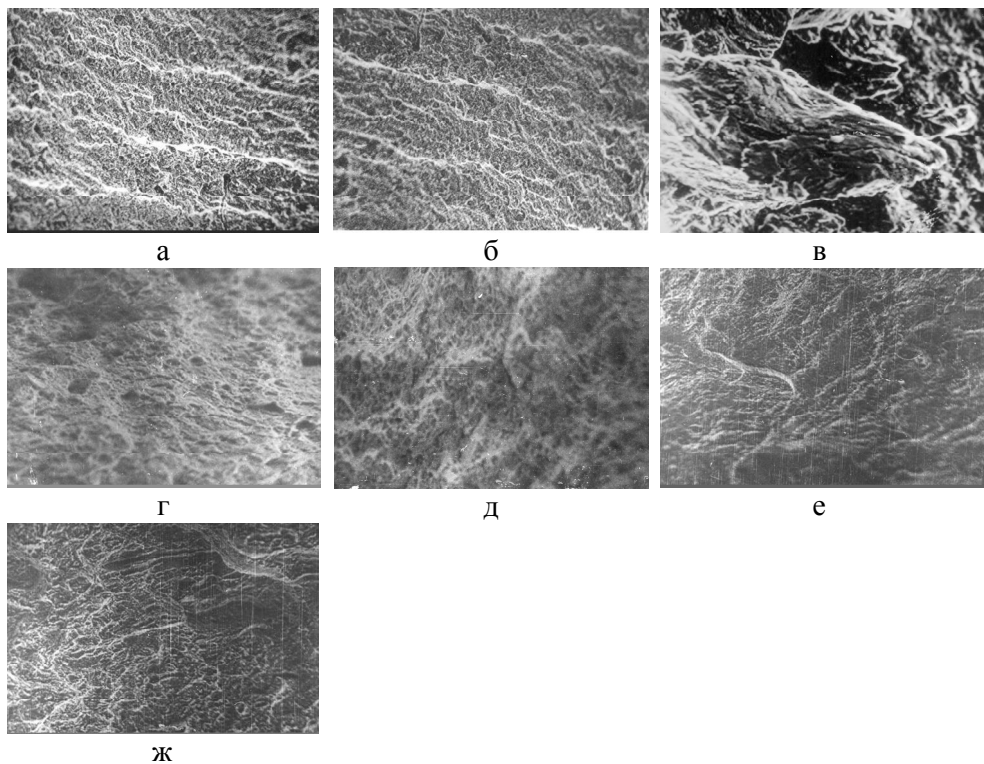


Рис. 2 – Фрактограми зламів сталі 10Г2Б з різним ступенем дезарсенації,  $\alpha_{As}$  (%) при температурі випробування 0°C, ( $\times 2020$ ): а – 0%; б – 29,0%; в – 36,5%; г – 58,0%; д – 68,0%; е – 83,5%; ж – з руди без миш'яка

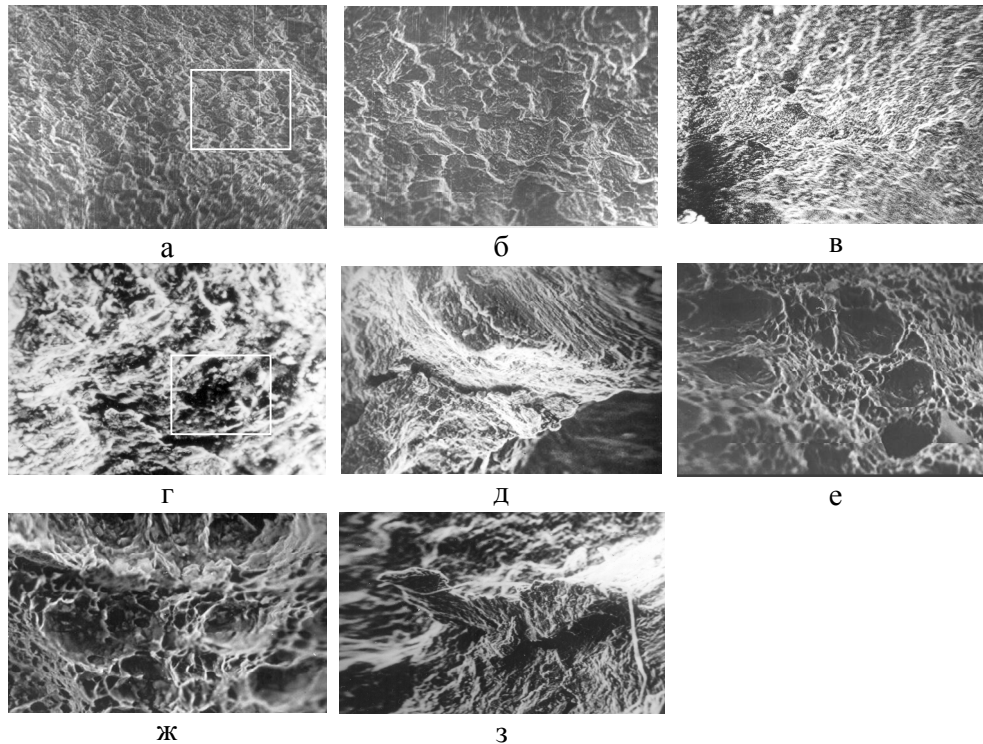


Рис. 3 – Фрактограми зламів сталі 10Г2Б з різним ступенем дезарсенації,  $\alpha_{As}$  (%) при температурі випробування  $-40^{\circ}\text{C}$ , ( $\times 2020$ ): а – 0%; б – 29,0%; в – 36,5%; г – 58,0%; д – 68,0%; е – 83,5%; ж – 86,0%; з – з руди без миш'яку

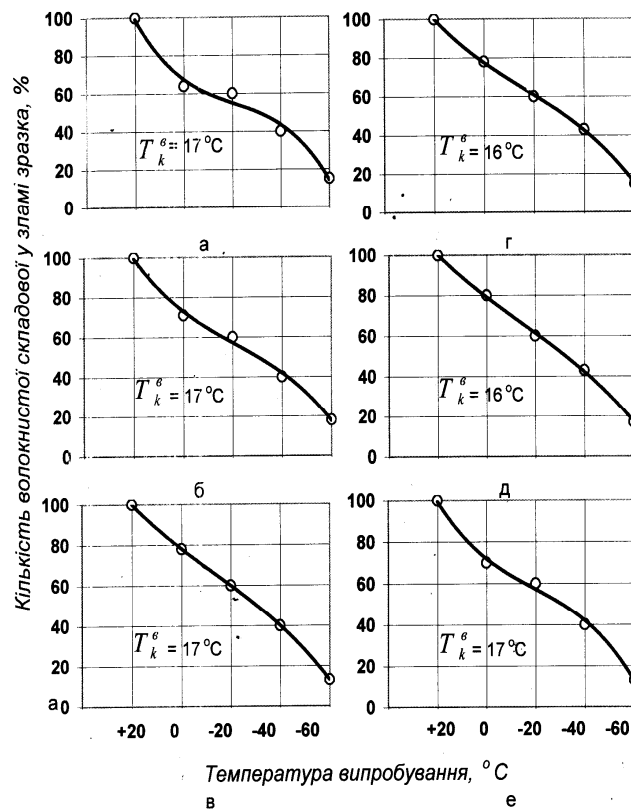


Рис. 4 – Зміна долі волокнистої складової від температури випробувань в зламах зразків сталі 10Г2Б з різним ступенем дезарсенації,  $\alpha_{As}$  (%): а – з криворізьких руд без миш'яку; б – 86,0%; в – 83,5%; г – 58,0%; д – 29,0%; е – 0,0%

**Висновки**

В роботі обґрунтовано можливість використання руд, що містять миш'як, без їх додаткової дезарсенації.

Виконаний мікроскопічний аналіз зразків сталі 10Г2Б показав, що незалежно від ступеню дезарсенації  $\alpha_{As}$  має місце однорідна, феррито-перлітова структура з малою міжплощинною відстанню. Фактографічний аналіз підтвердив, що при охолодженні до  $-40^{\circ}\text{C}$  зразків досліджуваної сталі, незалежно від кількості миш'яку, має місце в'язке ямкове руйнування.

Аналіз результатів механічних випробувань показав, що в сталі 10Г2Б, що містить миш'як, міцнісні, пластичні властивості та ударна в'язкість при різних температурах випробування (за винятком  $-60^{\circ}\text{C}$ ) мають значення, що майже не відрізняються від відповідних показників дезарсенованої сталі. Таким чином, ступінь дезарсенації сталі 10Г2Б на мікроструктуру і комплекс механічних властивостей впливає незначно.

Показано, що миш'як в кількостях, що переходять в сталь з руди (масова доля до 0,15%), не робить шкідливого впливу на якість такої сталі, що дає підставу розширювати коло її застосування без додаткової дезарсенації.

**Список використаних джерел:**

1. Харлашин П.С. Мышьяк в металлургических расплавах, процессах, технологиях : монография / П.С. Харлашин. – К. : Вища школа, 2007. – 537 с.
2. Влияние вредных примесей и неметаллических включений [Электронный ресурс] : [Веб-сайт]. – Электронные данные. – 2011. – Режим доступа: [www.allmetallurgy.ru/stal/1782-vliyanie-vrednykh-primesej-i-nemetallicheskix-vklyuchenij.html](http://www.allmetallurgy.ru/stal/1782-vliyanie-vrednykh-primesej-i-nemetallicheskix-vklyuchenij.html). – Название с экрана.
3. Основные минералы и характеристика железных руд [Электронный ресурс] : [Веб-сайт]. – Электронные данные. – Новотроицк, 2015. – Режим доступа: [www.mylektsii.ru/7-51222.html](http://www.mylektsii.ru/7-51222.html). – Название с экрана.
4. Ершов Г.С. Свойства металлургических расплавов и их взаимодействие в сталеплавильных процессах / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. – М. : Металлургия, 1983. – 216 с.
5. Харлашин П.С. Исследование физико-химических свойств Fe-As, Fe-As-C, Fe-As-C-S-P расплавов и поведение мышьяка в процессах производства стали / П.С. Харлашин // Современные технологии для производства и разлива стали. – Варна, 1989. – С. 289-302.
6. Некоторые особенности поведения мышьяка при рафинировании железоуглеродистых расплавов / Г.Д. Молонов, П.С. Харлашин, А.И. Кириленко, И.Т. Шевелев // Физико-химич. основы пр-ва стали : тез. докл. 8-й конф. – М., 1977. – Ч. 1. – С. 61.
7. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – Введ. 1983-01-01. – М. : Госстандарт СССР, 1982. – 21 с.
8. ISO 643-2003. Steels – Micrographic determination of the apparent grain size. – Введ. 2003-09-01. – 2003. – 42 с.

**References:**

1. Kharlashin P.S. *Mysh'iak v metallurgicheskikh rasplavakh, protsessakh, tekhnologiiakh* [Arsenic in metallurgical melts, processes, technologies]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 2007. 537 p. (Rus.)
2. *Vliyanie vrednykh primesei i nemetallicheskih vklucheni* (Influence of harmful impurities and non-metallic inclusions) Available at: <http://allmetallurgy.ru/stal/1782-vliyanie-vrednykh-primesej-i-nemetallicheskix-vklyuchenij.html> (accessed 14 March 2017).
3. *Osnovnye mineraly i kharakteristika zheleznykh rud* (Basic minerals and characteristics of iron ores) Available at: <http://mylektsii.ru/7-51222.html> (accessed 15 February 2017).
4. Ershov G.S., Bychkov Iu.B. *Svoistva metallurgicheskikh rasplavov i ikh vzaimodeistvie v staleplavil'nykh protsessakh* [Properties of metallurgical melts and their interaction in steelmaking processes]. Moscow, Metallurgija Publ., 1983. 216 p. (Rus.)
5. Kharlashin P.S. *Issledovanie fiziko-khimicheskikh svoistv Fe-As, Fe-As-C, Fe-As-C-S-P rasplavov i povedenie mysh'iaka v protsessakh proizvodstva stali* [Investigation of the physicochemical properties of Fe-As, Fe-As-C, Fe-As-C-S-P melts and behavior of arsenic in steel production processes]. *Sovremennye tekhnologii dlia proizvodstva i razlivki stali – Modern technologies for steel production and casting*, 1989, pp. 289-302. (Rus.)
6. Molonov G.D., Kharlashin P.S., Kirilenko A.I., Shevelev I.T. *Nekotorye osobennosti povedeniia*

- mysh'iaka pri rafinirovanii zhelezouglerodistykh rasplavov. *Tezisy dokladov 8 konf. «Fiziko-khimicheskie osnovy proizvodstva stali»* [Some peculiarities of arsenic behavior during refining of iron-carbon melts. Abstracts of 8th Conf. «Physico-chemical fundamentals of steel production»]. Moscow, 1977, no.1, p. 61. (Rus.)
7. GOST 5639-82. *Stali i splavy. Metody vyivleniia i opredeleniia velichiny zerna* [Steels and alloys. Methods for the detection and determination of grain size]. Moscow, State Standard of the USSR Publ., 1982. 21 p.
  8. ISO 643-2003. Steels – Micrographic determination of the apparent grain size. 2003. 42 p.

Рецензент: В.Г. Єфременко  
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 11.09.2017

УДК 669.18

© Чичкарев Е.А.<sup>1</sup>, Алексеева В.А.<sup>2</sup>

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УДАЛЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

*Сформулирована комбинированная математическая модель удаления неметаллических включений в промковше слябовой МНЛЗ за счет флотации и всплывания. Рост доли объема промковша с режимом идеального вытеснения (с ламинарным течением) ведет к снижению остаточной доли неметаллических включений. При продувке аргоном в промковше эффективность флотации зависит от размера неметаллических включений, размера пузырьков газа, среднего времени пребывания металла.*

**Ключевые слова:** неметаллические включения, продувка инертным газом, кривая RTD, ячейка идеального смешения, ячейка идеального вытеснения.

**Чичкарьов Є.А., Алексеева В.А. Моделювання процесів видалення неметалевих включень у проміжному ковші слябової МБЛЗ.** Сформульована комбінована математична модель видалення неметалевих включень в промковшій слябової МБЛЗ за рахунок флотації та спливання. Зростання частки обсягу промковша з режимом ідеального витіснення (з ламінарним плином) веде до зниження залишкової частки неметалевих включень. Під час продування аргоном в промковшій ефективність флотації залежить від розміру неметалевих включень, розміру бульбашок газу, середнього часу перебування металу.

**Ключові слова:** неметалеві включення, продування інертним газом, крива RTD, осередок ідеального змішування, осередок ідеального витіснення.

**E.A. Chychkarov, V.A. Alekseeva. Modelling the processes of nonmetallic inclusions removal in the tundish of the slab CCM.** The analysis of the main approaches to the description of the processes of nonmetallic inclusions removal in the tundish during continuous casting is performed. It is shown that in studying the hydrodynamic processes in the tundish, the distribution curves of residence time (RTD) are widely used, which are described by a combination of idealized cells. A combined mathematical model for the removal of nonmetallic inclusions in the tundish of slab CCM due to flotation and floating is formulated. The possibilities of their removal for limiting variants of mixing condi-

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [influence@meta.ua](mailto:influence@meta.ua)

<sup>2</sup> ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [aveni0333@gmail.com](mailto:aveni0333@gmail.com)