

3 [326]

ТОМ 29

2021

ISSN 2077-1304 PRINT  
ISSN 2706-5529 ONLINE

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

**МЕТАЛ  
ТА ЛІТТЯ  
УКРАЇНИ**  
METAL AND CASTING OF UKRAINE



Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України

[steelcast.com.ua](http://steelcast.com.ua)

[steelcastjournal@gmail.com](mailto:steelcastjournal@gmail.com)

Науково-технічний журнал  
Зареєстровано в Міністерстві юстиції України  
Свідоцтво про державну реєстрацію  
засобу масової інформації: КВ № 24088-13928 ПР  
від 06.08.2019 р.

Виходить 4 рази на рік  
Видається з червня 1993 року

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Фізико-технологічного інституту металів  
та сплавів НАН України

Журнал входить до Переліку наукових фахових видань  
України (категорія "Б"), затвердженого Наказом № 409 від  
17.03.2020 р. Міністерства науки та освіти України, в яких  
можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на  
здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук  
(технічні науки).

Том 29  
№3 (326) 2021

# МЕТАЛ ТА ЛИТТЯ України

## METAL AND CASTING OF UKRAINE

**Засновник:** Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України

**Видавець:** Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України

Асоціація ливарників України

Українська асоціація сталеплавильників

### **ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ ТА СТАЛІ**

**Руденко М.Р., Кащесв М.А., Нагорний Є.М., Руденко Р.М., Сорока О.В.**

Дослідження ефективності зниження викидів від зон спікання агломашин . . . . . 8

**Волошин В.С., Руських В.П., Хавалиць Ю.В., Зотов Д.С., Каріков С.А., Кірсанов Р.Ю.**

Захарашення горна доменної печі й способи його очищення . . . . . 15

### **ОБРОБКА СТАЛІ У КОВШІ**

**Плохих П.А., Вожол М.А., Хавалиць Ю.В., Плохих П.А.**

Умови служби футеровки сталерозливних ковшів і вимоги, пропонувані до вогнетривких матеріалів. . . . . 21

### **РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ У ЗЛИВКИ**

**Тарасов В.К., Воденнікова О.С., Воденніков С.А., Манідіна Є.А.**

Удосконалення методів підготовки виливниць до розливки сталі . . . . . 28

### **ПРОЦЕСИ БЕЗПЕРЕРВНОГО РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ**

**Балаханова Т.В., Левченко Г.В., Рибалка Є.М.**

Контроль якості безперервнолитої заготовки з низьковуглецевої сталі для виготовлення катанки . . . . . 36

**Лисенко Т.В., Васильєв Д.С., Смірнов О.М.**

Знос гільзи кристалізатора в процесі експлуатації на виробництві . . . . . 44

### **ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА І ПРОЦЕСИ ЛИТТЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ**

**Солоненко Л.І., Реп'ях С.І., Білий О.П.**

Вплив піщано-рідкоскляних форм, структурованих за паро-мікрохвильовим затвердінням, на пригар і шорсткість поверхні виливків . . . . . 50

<b>Дорошенко В.С.</b>	
Методи «цифровізації» ливарно-металургійного виробництва: віртуальний інжиніринг, цифровий двійник, адитивні технології . . . . .	62
<b><u>МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ РОЗЛИВАННЯ І ТВЕРДІННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ</u></b>	
<b>Цуркін В.М., Іванов А.В., Жданов О.О., Честних М.В., Гумененко М.К., Дьогтєв Ю.Н., Харитонова Т.Г.</b>	
Рідкофазна обробка кондукційним струмом ливарного силуміну АК7пч з підвищеним вмістом заліза . . .	67
<b><u>ПРОЦЕСИ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА</u></b>	
<b>Сіренко К.А.</b>	
Розвиток виробництва лиття з синтетичного чавуну . . . . .	79
<b><u>ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ</u></b>	
<b>Проців В.В., Григоренко В.У.</b>	
Особливості процесу експандування в технологіях виробництва труб великого діаметра для магістральних нафто- та газопроводів . . . . .	87
<b><u>ХРОНІКА. ІНФОРМАЦІЯ</u></b>	
Перелік конференцій у 2021 році (осінь) . . . . .	94
Міжнародні конференції, виставки, конгреси в галузі машинобудування та ливарного виробництва у 2021–2024 рр. . . . .	96

Scientific and technical Journal  
Registered by the Ministry of Justice of Ukraine  
State registration certificate of print media:  
KB № 24088-13928 ПП  
from 06.08.2019  
Published 4 times a year  
Issued since June 1993

Recommended for print by Scientific Council of the Physico-  
technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of  
Ukraine

The journal is included into the List of Scientific Professional  
Editions of Ukraine (category "B"), approved by Decree  
no. 409 of 17.03.2020 of the Ministry of Education and  
Science of Ukraine, in which the results of PhD and Doctoral  
theses (in Technical Sciences) may be published.

Vol. 29  
№3 (326)'2021

# METAL & CASTING of Ukraine METAL AND CASTING OF UKRAINE

**Founder:** Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine

**Publishers:** Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine

Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the National Academy of Sciences of Ukraine

Foundry Association of Ukraine

Ukrainian Steelmakers Association

## PRODUCTION OF IRON AND STEEL

- Rudenko M.R., Kashcheev M.A., Nagorny Ye.M., Rudenko R.M., Soroka O.V.**  
Research of efficiency of reduction of emissions from sintering zones of sintering machines . . . . . 8
- Voloshin V.S., Russkikh V.P., Khavalits Yu.V., Zotov D.S., Karikov S.A., Kirsanov R.Yu.**  
Blast furnace hearth overloading and the methods of its cleaning . . . . . 15

## REFINING STEEL IN THE LADLE

- Plokhikh P.A., Vozhol M.A., Khavalits Yu.V., Plokhikh P.A.**  
Service conditions of steel-pouring ladle lining and conditions for refractory materials. . . . . 21

## STEEL POURING AS INGOT

- Tarasov V.K., Vodennikova O.S., Vodennikov S.A., Manidina Ye.A.**  
Molds preparation improving methods for steel casting . . . . . 28

## CONTINUOUS CASTING OF STEEL

- Balakanova T.V., Levchenko H.V., Rybalka Ye.M.**  
Quality control of continuous cast ingot from low-carbon steel for wire rod production . . . . . 36
- Lysenko T.V., Vasylyev D.S., Smirnov O.M.**  
Wear of the mold sleeve during operation in production . . . . . 44

## TECHNOLOGIES AND PROCESSES OF CASTING METALS AND ALLOYS

- Solonenko L.I., Repyakh S.I., Bilyi O.P.**  
Influence of sand-sodium-silicate molds structured by steam-microwave solidification on castings surface  
burn-in and roughness . . . . . 50

<b>Doroshenko V.S.</b>	
Methods of digitalization of foundry and metallurgical production: virtual engineering, digital twin, additive technologies . . . . .	62
<b><u>MAGNETOHYDRODYNAMIC PROCESSES FOR CONTROLLING THE PROCESSES OF CASTING AND SOLIDIFICATION OF METALS AND ALLOYS</u></b>	
<b><i>Tsurkin V.M., Ivanov A.V., Zhdanov O.O., Chestnykh M.V., Gumenenko M.K., Degtev Yu.N., Kharytonova T.G.</i></b>	
Liquid-phase conductive current treatment of casting silumin AK7пч with high iron content . . . . .	67
<b><u>PROCESSES, TECHNOLOGIES AND MATERIALS IN FOUNDRY</u></b>	
<b><i>Sirenko K.A.</i></b>	
Development of production of casting from synthetic cast iron . . . . .	79
<b><u>METAL PROCESSING BY DEFORMATION</u></b>	
<b><i>Protsiv V.V., Hryhorenko V.U.</i></b>	
Features of the expansion process in the technology of production of large diameter pipes for main oil and gas pipelines . . . . .	87
<b><u>CHRONICLE. INFORMATION</u></b>	
List of conferences in 2021 (autumn) . . . . .	94
International conferences, exhibitions, congresses in the field of mechanical engineering and foundry production in 2021–2024. . . . .	96

- Смірнов О.М.** головний редактор, д-р техн. наук, проф., зав. відділу, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Дубодєлов В.І.** заступник головного редактора, д-р техн. наук, проф., акад. НАН України, зав. відділу, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Верзілов О.П.** відповідальний секретар, канд. техн. наук, ст. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Бабаченко О.І.** д-р техн. наук, ст. наук. співр., директор, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України, Дніпро, Україна
- Величко О.Г.** д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України, ректор, Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна
- Гнилоскуренко С.В.** канд. техн. наук, зав. відділу, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Гридін О.Ю.** д-р техн. наук, доц., заст. зав. кафедри, Падерборнський університет, Падерборн, Німеччина
- Кавалек Г.А.** проф., Ченстоховський політехнічний університет, Ченстохова, Польща
- Камкіна Л.В.** д-р техн. наук, проф., декан металургійного факультету, проф. кафедри, Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна
- Клименко С.І.** канд. техн. наук, директор Департаменту ливарного виробництва, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Кондратюк С.Є.** д-р техн. наук, проф., зав. відділу, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Ладохін С.В.** д-р техн. наук, проф., гол. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Лихошва В.П.** д-р техн. наук, проф., зав. відділу, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Лобанов Л.М.** д-р техн. наук, проф., акад. НАН України, ІЕЗ ім. Є.О. Патона Національної академії наук України, Київ, Україна
- Мазур В.Л.** д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України, гол. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Найдек В.Л.** д-р техн. наук, проф., акад. НАН України, радник при дирекції, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Ноговіцин О.В.** д-р техн. наук, ст. наук. співр., заст. директора з науково-технічної роботи, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Нурадінов А.С.** д-р техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Петренко В.А.** д-р техн. наук, проф., засл. діяч науки і техніки України, Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна
- Пономаренко О.І.** д-р техн. наук, проф., проф. кафедри, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна
- Приходько І.Ю.** д-р техн. наук, ст. наук. співр., зав. відділу, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України, Дніпро, Україна
- Сігарьов Є.М.** д-р техн. наук, проф., зав. кафедри, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна
- Чернятевич А.Г.** д-р техн. наук, проф., зав. відділу, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України, Дніпро, Україна
- Шинський О.Й.** д-р техн. наук, проф., зав. відділу, президент Асоціації ливарників України, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна

## редакція

---



Редактор  
**Анастасія Андріївна Горшкова**

Коректор  
**Надія Олександрівна Верховлюк**



Макет  
**Сергій Анатолійович Цихмайстренко**  
**Лілія Вікторівна Школяренко**



Верстка  
**Даниїл Ігорович Гойда**

## адреса редакції та друкарні

---

Україна, 03142, м. Київ, бул. Акад. Вернадського, 34/1  
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України  
Телефон: (044) 424-04-10, факс (044) 424-35-15  
E-mail: [mlu@ptima.kiev.ua](mailto:mlu@ptima.kiev.ua)  
Інформація про журнал на сайті: [www.steelcast.com.ua](http://www.steelcast.com.ua)  
Надруковано ТОВ «Про формат», вул. Маршала Жукова, 45 Б

Думка редакції не завжди співпадає з думкою автора. Відповідальність за достовірність представлених матеріалів несуть автори статей. За рекламну інформацію відповідають рекламодавці.

---

Здано у набір 30.06.2021. Підписано до друку 30.09.2021. Формат 60x84/8. Папір офсетний № 1. Друк на різнографі.  
Обл.-вид. арк. – 13,17. Ум. друк. арк. – 11,39. Ум. фар.-от. – 12,31. Тираж – 150 прим.

- Smirnov, O.M.** Editor-in-chief, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Dubodelov, V.I.** Deputy Editor-in-chief, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Academician of the NAS of Ukraine, Head of the Department, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Verzilov, O.P.** Executive Secretary, PhD(Engin.), Senior Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Babachenko, O.I.** Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Director, Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine
- Velichko, O.G.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Rector, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine
- Gnyloskurenko, S.V.** PhD (Engin.), Head of the Department, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Grydin, A.Yu.** Dr. Sci. (Engin.), Associate Professor, Deputy Head of the Department, Paderborn University, Paderborn, Germany
- Kawalek, A.A.** Professor, Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland
- Kamkina, L.V.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Dean of the Faculty of Metallurgy, Professor of the Department, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine
- Klymenko, S.I.** PhD (Engin.), Director of the Department of foundry, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Kondratiuk, S.Ye.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Ladokhyn, S.V.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Chief Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Likhoshva, V.P.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Lobanov, L.M.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Academician of the NAS of Ukraine, E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Mazur, V.L.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Chief Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Naidek, V.L.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Academician of the NAS of Ukraine, Adviser to the Directorate, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Nogovitsyn, O.V.** Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Deputy Director for Scientific and Technical Work, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Nuradinov, A.S.** Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- Petrenko, V.O.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Merited Figure of Science and Technology of Ukraine, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine
- Ponomarenko, O.I.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Professor of the Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
- Prykhodko, I.Yu.** Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Head of the Department, Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine
- Sigarev, E.M.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department, Dniprovsk State Technical University, Kamenskoye, Ukraine
- Cherniatevych, A.G.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department, Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine
- Shinskiy, O.I.** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department, President of the Foundry Association of Ukraine, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine



**Л.І. Солоненко**<sup>1</sup>, канд. техн. наук., доц. каф. технології та управління ливарними процесами,  
e-mail: solonenkoli14@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2092-8044>

**С.І. Реп'ях**<sup>2</sup>, д-р техн. наук., проф. каф. ливарне виробництво, e-mail: 123rs@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0003-0203-4135>

**О.П. Білий**<sup>2</sup>, ст. викл. каф. ливарне виробництво, e-mail: baplitvo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1234-5404>

<sup>1</sup>Державний університет «Одеська політехніка» (Одеса, Україна)

<sup>2</sup>Національна металургійна академія України (Дніпро, Україна)

## Вплив піщано-рідкоскляних форм, структурованих паро-мікрохвильовим затвердінням, на пригар і шорсткість поверхні виливків

Метою цієї роботи є вивчення впливу піщано-рідкоскляних форм, структурованих за способом паро-мікрохвильового затвердіння (ПМЗ-процес), на пригар і шорсткість виливків. У дослідженнях використовували форми, що були виготовлені за Cold-box-amin-процесом, Resol-CO<sub>2</sub>-процесом, CO<sub>2</sub>-процесом та ПМЗ-процесом, які заливали сталлю 30Л. Зразки виливків зі сталей 30Л, 20Х27Н18С2Л, сірого чавуну СЧ20, бронз БрА9ЖЗЛ, БрО5Ц5С5, БрО4Ц4С17 і алюмінієвого сплаву АЛ2 відливали в форми, що виготовлені за ПМЗ-процесом. Перегрів всіх сплавів над температурою ліквідус при заливці становив 120 ± 7 °С. Мікроструктуру зразків сталі 30Л досліджували на оптичному мікроскопі МБС-10 до і після їх травлення ніталем. Параметри шорсткості визначали на профілометрі в комплекті з інформаційно-обчислювальним комплексом мод. 170622.

Встановлено, що якість поверхні виливків, виготовлених за ПМЗ-процесом, не поступається якості поверхні виливків, виготовлених в формах за Cold-box-amin, Resol-CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>-процесами, і для виливків зі сплаву АЛ2 знаходиться на рівні якості (по чистоті поверхні) з виливками, що виготовляють в оболонкових формах. Якщо врахувати, що ПМЗ-процес екологічно безпечніший, ніж Cold-box-amin, Resol-CO<sub>2</sub>-процес, і економічніший, ніж Cold-box-amin, Resol-CO<sub>2</sub> і CO<sub>2</sub>-процес, то цей спосіб виготовлення форм і стрижнів, з числа перерахованих способів, при наявності відповідного обладнання та оснащення, є найбільш перспективним для виготовлення середнього і дрібного литва загальномашинобудівного призначення із залізобетонних і легкоплавких кольорових сплавів. Виходячи з викладеного, перспективні дослідження повинні бути спрямовані на встановлення закономірностей впливу ряду основних параметрів плакованих рідкоскляних сумішей і умов виготовлення форм і стрижнів за способом ПМЗ на якість литва та оптимізацію умов структурування подібних сумішей в умовах виробництва виливків в сучасних ливарних цехах.

**Ключові слова:** вилівок, шорсткість поверхні, пригар, пісок, рідке скло, плакування, паро-мікрохвильове затвердіння.

**Вступ.** Виникнення дефектів на поверхнях виливків (пригар, ужиміна, наріст, засмічення, просічка, газова шорсткість, газові раковини і т. ін.) обумовлено певною невідповідністю властивостей розплаву і умов його заливки та рівнем фізико-хімічних і технологічних властивостей використаних ливарних форм і/або стрижнів (ЛФС) [1, 2].

З числа поверхневих дефектів, які можливо механічно усунути, найбільш часто на виливках зустрічається пригар. За механізмом виникнення пригар поділяють на хімічний, механічний і термічний. Якісну

класифікацію пригару за способом його видалення з поверхні виливка і виду відокремлюваних при цьому часток пригару, що наведено в табл. 1 і табл. 2, одним з перших дав Ф.Д. Оболенцев [3].

У разі необхідності, для кількісної оцінки пригару використовують відносні величини трудовитрат на його видалення стиранням або ударом [4].

Залежно від властивостей сполучного і зернистого матеріалу форми і стрижня, кількості сполучного матеріалу, температури розплаву, що заливають в форму, металостатичного тиску у формі, хімічної ак-

Таблиця 1

**Якісна оцінка пригару на виливках за Ф.Д. Оболенцевим**

Категорія пригару	Ступінь труднощів видалення пригару при очищенні
Дуже сильний	Пригар з великими труднощами видаляється пневматичним зубилом і лише разом з металом тіла виливка. Поверхня виливка після очищення посічена зубилом, і на ній залишаються смуги міцно пригорілої суміші.
Сильний	Пригар насилу видаляється пневматичним зубилом. Поверхня виливка посічена зубилом. Місцями залишаються ділянки пригорілої суміші.
Середній	Пригар добре видаляється пневматичним зубилом. Ручним зубилом теж може бути видалений, але з великими труднощами. Поверхня виливка після очищення дуже шорстка.
Слабкий	Пригар успішно видаляється ручним зубилом. Поверхня виливка після очищення трохи шорстка.
Дуже слабкий	Пригар легко очищується ручним зубилом. Поверхня виливка після очищення не має слідів пригару.
Немає пригару	Поверхневий шар спеченої суміші легко очищується ударами молотка, навіть без застосування ручного зубила. Поверхня виливка після очищення гладка.

Таблиця 2

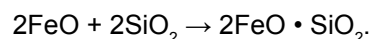
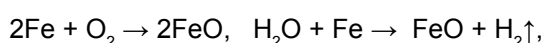
**Оцінка пригару за способом видалення за Ф.Д. Оболенцевим**

Спосіб видалення пригару	Бал
Ударом молотка по виливку	1
Сталевою щіткою (ручною, механічною)	2
Піскоструминним очищенням	3
Дробоструминним очищенням	4
Пневматичним зубилом – пластинами	5
Пневматичним зубилом – дрібними частинками разом із шаром металу виливка	6

тивності суміші по відношенню до залитого у неї розплаву, виду газового середовища в капілярних каналах і робочій порожнині форми і т. ін., для одного і того ж сплаву, який залито у форми з різних сумішей, а також для різних сплавів, залитих в форми з однакової суміші, рівень якісної і кількісної оцінки пригару може бути різним.

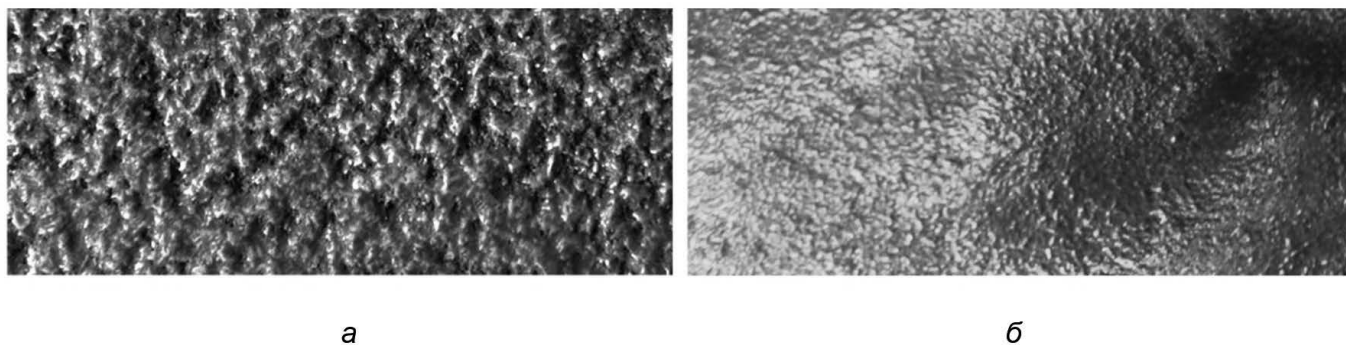
З цього випливає, що на виливку може з'явитися як хімічний, механічний або термічний пригар, так і пригар хіміко-термічний, термо-механічний та інші більш складні види пригару.

*Хімічний пригар* у вигляді чорного шару формувальної або стрижневої суміші, що прилягає до поверхні виливка, найбільш часто утворюється на виливках з вуглецевої сталі і чавуну. Для даних сплавів, хімічний пригар – це шар формувальної суміші, просочений великою кількістю оксидів заліза. За даними Жуковського С.С., Дорошенко С.П. та інших вчених, такі оксиди, наприклад, на сталевих виливках, з'являються в результаті послідовного проходження на межі розплав-форма або розплав-стрижень наступних хімічних реакцій:



При цьому кисень, який взаємодіє з залізом сплаву, присутній в повітрі, а волога і оксид кремнію – у формувальній суміші. В результаті цих хімічних реакцій утворюється фаяліт – склоподібна хімічна сполука з аморфною структурою. У складі фаяліту ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) у невеликій кількості також присутній оксид марганцю [5, 6]. При кімнатній температурі такий пригар характеризується крихкістю (наявністю склоподібної фази з аморфною структурою) і легкістю відділення від виливка. Зі зменшенням частки оксидів заліза і марганцю у шарі пригару формуються хімічні сполуки з кристалічною структурою, і пригар стає важковидляємим з поверхні виливка [7, 8]. Тобто, для отримання на сталевому виливку легковидляемого пригару підвищують температуру заливки металу в форму, в формувальну та стрижневу суміш додають невелику кількість рідкого скла (РС) або порошокподібних оксидів заліза, для попередження утворення пригару – обмежують окислення поверхні виливка у формі, фарбують або облицьовують робочі поверхні форми меленим хромистим залізняком тощо.

Водночас при використанні сухих піщано-глинистих форм або форм і стрижнів на основі РС на



**Рис. 1.** Вид пласкої поверхні виливка з бронзи БрО5Ц5С5 з механічним пригаром, відлитим в піщано-рідкоскляну форму за CO<sub>2</sub>-процесом з 5 % РС (а) і з 8 % РС та 10 % золи-виносу теплової електростанції (б), ×7

чавунних виливках утворюється товстий важковиділяємий від виливка шар пригару. Виходячи з цього, при виробництві виливків з чавуну робочі поверхні сухих кварцових форм та стрижнів покривають вогнетривкими фарбами, що містять графіт.

На поверхні виливків з високолегованих хромонікелевих сталей формується невеликий шар легковидаляемого пригару, оскільки оксиди хрому, що виникають під час заливання і охолодження розплаву в формі, не утворюють хімічних сполучень з двоокисом кремнію.

Водночас на поверхні виливка з високомарганцевої сталі у піщано-рідкоскляних ЛФС виникає значної товщини важковиділяємий шар механічного пригару, що обумовлено високою хімічною активністю проникаючих у формувальну або стрижневу суміш з поверхні виливка оксидів залізу і марганцю [9, 10].

*Механічний пригар* – самий важковиділяємий з поверхні виливків вид пригару. Це обумовлено тим, що в шарі механічного пригару сполучним матеріалом є сам метал виливка. Ймовірність появи механічного пригару на виливку збільшується з підвищенням металостатичного тиску в формі, зі збільшенням розмірів частинок піску в формувальній/стрижневій суміші, зі зменшенням уявної щільності матеріалу форми і стрижня, з підвищенням змочування піску розплавом, зі збільшенням тривалості затвердіння розплаву в формі тощо.

У ливарних цехах в піщано-рідкоскляні суміші для попередження появи на сталевих виливках механічного пригару додають хлориди марганцю і кальцію, суміш магнетиту (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) і гематиту (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), замінюють

кварцовий пісок на цирконовий і т. ін., в піщано-глинисті суміші вводять сульфат алюмінію тощо [11, 12]. При литті бронзи, що містить олово і/або свинець, в піщано-рідкоскляну суміш додають пилоподібний кварц, золу-виносу теплової електростанції і т. ін.

Слід зазначити, що застосування зазначених вище технологічних прийомів з ряду причин також не завжди дозволяє досягти позитивного результату. Зокрема, про це свідчить вид пласкої поверхні виливка з бронзи БрО5Ц5С5 з механічним пригаром, який був відлитий в піщано-рідкоскляну форму за CO<sub>2</sub>-процесом з 5 % РС, і поверхні виливка без пригару, який було відлито в піщано-рідкоскляну форму за CO<sub>2</sub>-процесом з 8 % РС і 10 % золи-виносу теплової електростанції, що наведені на рис. 1.

З аналізу зображень на рис. 1 випливає, що використання золи-виносу в складі піщано-рідкоскляної форми, виготовленої за CO<sub>2</sub>-процесом, дозволяє уникнути появи на виливках механічного пригару. Разом з цим пласкі поверхні таких виливків характеризуються значною хвилястістю (див. рис. 1, б), що слід враховувати при призначенні на них припуску під подальшу механічну обробку.

*Термічний пригар* – вид легковидаляемого пригару, який з'являється у результаті спікання або сплавлення між собою компонентів формувальної або стрижневої суміші. Зі свого боку спікання або сплавлення компонентів суміші визначається рівнем їх вогнетривкості. Зокрема, в піщано-глинистих сумішах ймовірність появи термічного пригару тим вище, чим більше в них міститься глини, речовин-плавнів тощо. Для попередження виникнення даного виду пригару

Таблиця 3

**Шорсткість поверхні виливків, виготовлених різними видами лиття [16]**

Вид лиття	Шорсткості поверхонь виливків (мкм) з:	
	чорних металів	легкоплавких кольорових металів
В піщані форми	320–160	320–80
В кокіль	320–40	160–20
За витоплюваними моделями	80–20	80–2,5
В оболонкові форми	160–40	80–20
Під тиском алюмінієвих і мідних сплавів	–	40–2,5

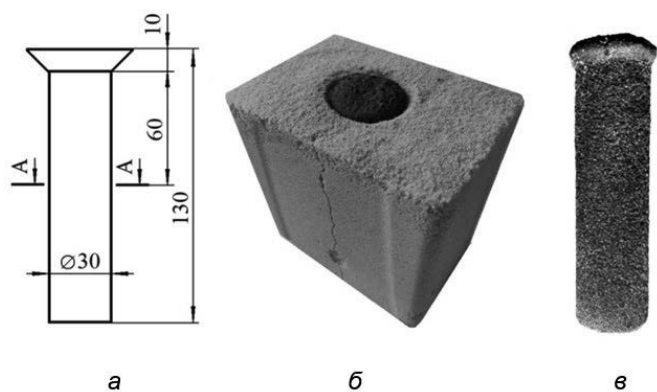


Рис. 2. Схема циліндричного зразка (а), вид залитої ливарної форми (б) і вибитого з форми зразка (в)

в піщано-глинисті суміші вводять коксове, торф'яне або солом'яне борошно, пилоподібну деревну тирсу, використовують сполучні органічного походження, порошок вермикуліту і т. ін. [13, 14].

Шорсткість поверхні виливків є одним зі здавальних показників якості виливків і залежить від значного числа параметрів виробництва лиття та властивостей сплавів виливків, а так само виду і параметрів пригару на поверхні виливка [15, 16]. Узагальнені дані про величину шорсткості поверхні виливків, виготовлених різними видами лиття, наведено в табл. 3.

Аналіз викладеного вище і даних табл. 3 підтверджує, що вид пригару і шорсткість поверхні виливків залежать як від властивостей сплаву виливка, так і властивостей ЛФС.

Для виливків, отриманих в формах, що виготовлені за ПМЗ-процесом, який є перспективним з багатьох точок зору [17–19], дані про пригар і шорсткість їх поверхні до теперішнього часу відсутні.

**Постановка задачі.** Структурування піщано-рідкоскляних сумішей паро-мікрохвильовим затвердінням (ПМЗ-процес) на сьогодні є новим і одним з перспективних напрямів в ливарному виробництві. Однак дані про якість поверхні виливків, що виготовляються в таких формах, відсутні. Тому робота, яка спрямована на дослідження впливу піщано-рідкоскляних ЛФС, структурованих за ПМЗ-процесом, на

пригар і шорсткість поверхні виливків, є актуальною.

**Мета роботи.** Вивчення впливу піщано-рідкоскляних форм, структурованих за ПМЗ-процесом, на пригар і шорсткість виливків.

**Об'єкт і методика досліджень.** Об'єкт досліджень – поверхня виливків, які були отримані в піщано-рідкоскляних формах, структурованих за ПМЗ-процесом.

У дослідженнях використовували форми, виготовлені за Cold-box-атін-процесом з 2 %мас. сполучної речовини, Resol-CO<sub>2</sub>-процесом з 5 %мас. сполучної речовини, CO<sub>2</sub>-процесом з 5 %мас. сполучної речовини і за ПМЗ-процесом з 1 %мас. сполучної речовини. Зразки виготовляли зі сталей 30Л, 20Х27Н18С2Л, сірого чавуну СЧ20, бронз БрА9ЖЗл, БрО5Ц5С5, БрО4Ц4С17, алюмінієвого сплаву АЛ2. Перегрів розплаву всіх сплавів при заливанні в форму складав  $120 \pm 7$  °С.

Вплив типу формувальної суміші на якість поверхні виливків зі сталі 30Л оцінювали візуально на зразках циліндричної форми, схема яких, вид залитої ливарної форми і вибитого з форми зразка представлено на рис. 2.

Для металографічних досліджень зразки зі сталі 30Л, відлиті в форми з різних сумішей, розрізали по лінії А-А (див. рис. 2, а). Мікроструктуру зразків досліджували на оптичному мікроскопі МБС-10 до і після їх травлення ніталем. Об'ємний вміст перліту в зразках визначали за зображеннями мікроструктури 5-ти полів кожного шліфа на видаленні 5 мм від їх циліндричної поверхні в перерізі А-А з використанням комп'ютерної програми ImageJ 1.53e (<http://imagej.nih.gov/ij>).

Параметри шорсткості литих поверхонь виливків визначали на профілометрі в комплекті з інформаційно-обчислювальним комплексом мод. 170622. З метою мінімізації впливу величини металостатичного напору в формі на величину шорсткості поверхні виливків, а також визначення впливу вмісту РС, яке було використане на плакування кварцового піску, температури перегріву розплаву при заливці, відливали клиноподібні виливки трапецієподібної форми з алюмінієвого сплаву АЛ2. Схему моделі клиноподібного виливка представлено на рис. 3, а, схему траси

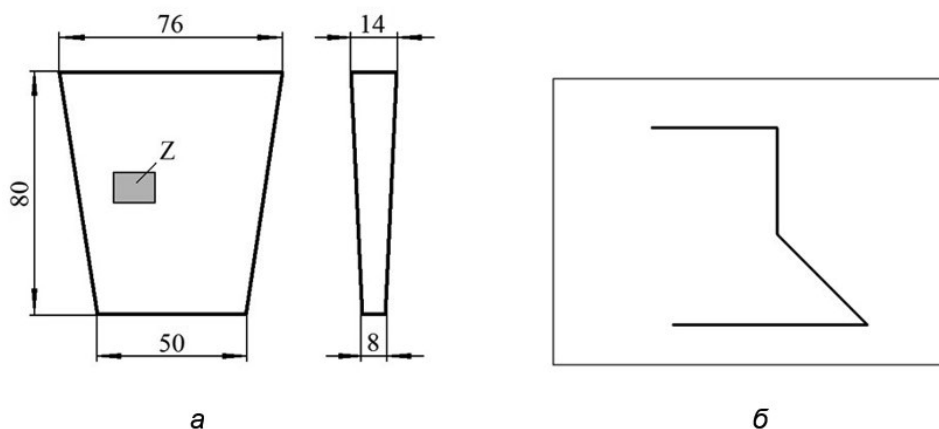


Рис. 3. Схема моделі клиноподібного виливка для визначення параметрів шорсткості її поверхні на ділянці Z (а) і траси профілометра на ділянці Z (б)

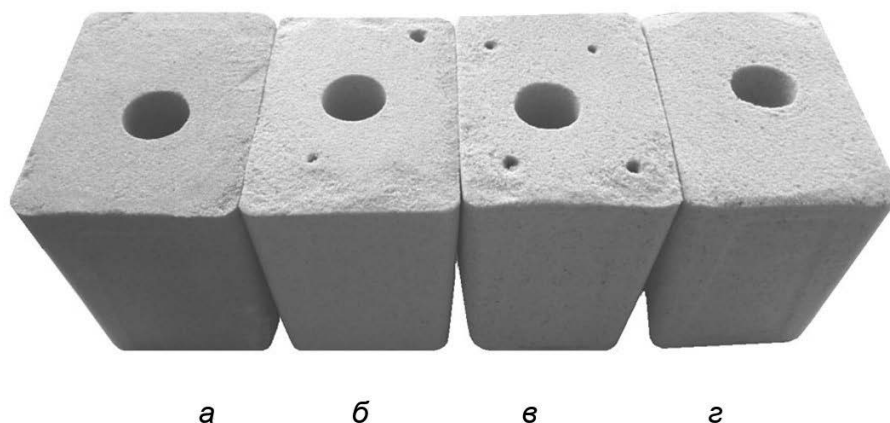


Рис. 4. Ливарні форми, які виготовлені за Cold-box-амін-процесом (а), Resol-CO<sub>2</sub>-процесом (б), CO<sub>2</sub>-процесом (в), ПМЗ-процесом (г)

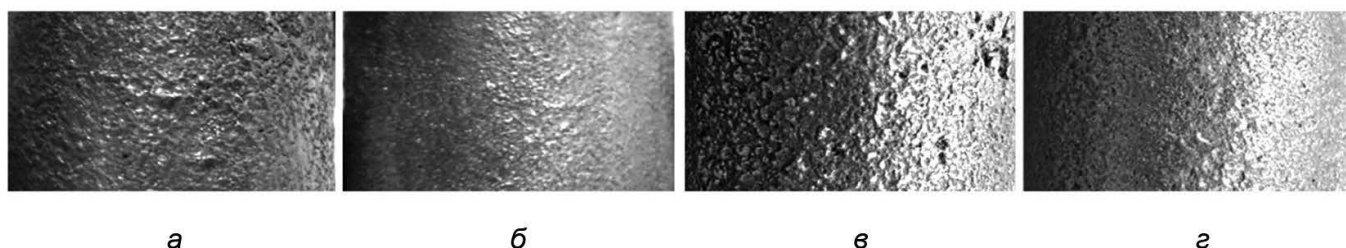


Рис. 5. Вид поверхні (×2,5) циліндричних виливків зі сталі 30Л, отриманих в ливарній формі, які виготовлено за Cold-box-амін-процесом (а), Resol-CO<sub>2</sub>-процесом (б), CO<sub>2</sub>-процесом (в), ПМЗ-процесом (г)

профілометра загальною довжиною не менше 8 мм – на рис. 3, б.

Уявну щільність структурованих сумішей розраховували за формулою:

$$\rho_2 = m/V,$$

де  $m$  – маса зразка, кг;  $V$  – об'єм зразка, м<sup>3</sup>.

Масу визначали зважуванням на електронних вагах з точністю 0,1 г. Об'єм зразків розраховували за результатами вимірювання їх розмірів.

**Результати досліджень.** Для якісного визначення впливу типу формувальної суміші, на пригар і якість поверхні виливків, виготовляли форми, вид яких представлено на рис. 4.

Через 2 години, з моменту закінчення виготовлення форми, заливали сталлю 30Л. Візуальну оцінку якості поверхні зразків, фрагменти яких представлено на рис. 5, проводили після їх очищення металевою щіткою.

З аналізу візуальної оцінки якості поверхонь зразків випливає, що з числа випробовуваних формувальних сумішей краща якість поверхні у зразків, отриманих в формах за Resol-CO<sub>2</sub> (рис. 5, б) і ПМЗ-процесами (рис. 5, г). Гірша якість поверхні у зразків, відлитих в формах за Cold-box-амін (рис. 5, а) і CO<sub>2</sub>-процесами (рис. 5, в).

Мікроструктури зразків сталі 30Л, отриманих в різних формах, до і після їх травлення ніталем, представлено на рис. 6.

З рис. 6, б випливає, що незалежно від виду ливарної форми, мікроструктури всіх зразків подібні і являють собою суміш фериту і перліту. Об'ємний вміст перліту у зразках, отриманих в формах за Cold-box-

амін-процесом, складає 48,7–50,5 %, за Resol-CO<sub>2</sub>-процесом – 58,2–59,9 %, за CO<sub>2</sub>-процесом – 37,1–39,3 % і за ПМЗ-процесом – 49,7–52,1 %. Встановлена величина об'ємного вмісту перліту в структурі сталі 30Л опосередково свідчить про те, що з числа досліджуваних ливарних форм найбільша швидкість охолодження виливків у формі, виготовленої за Resol-CO<sub>2</sub>-процесом, а в формі, виготовленої за CO<sub>2</sub>-процесом – найменша. У той же час, швидкість охолодження виливків у формах, виготовлених за ПМЗ-процесом, порівнянна зі швидкістю охолодження виливків у формах за Cold-box-амін-процесом.

При цьому на нетравлених шліфах (див. рис. 6, а) зразків спостерігається різна за площею усадкова пористість (темні плями). За результатами візуальної оцінки, найменша усадкова пористість у зразка, який отримано в формі, виготовленої за ПМЗ-процесом, найбільша пористість у зразка, отриманого в формі, виготовленої за Cold-box-амін-процесом.

Для визначення виду і класифікації пригару за Ф.Д. Оболенцевим, візуальної оцінки виду поверхні виливків після їх очищення, в піщано-рідкоскляні форми, що виготовлені за ПМЗ-процесом, відливали циліндричні зразки з різних сплавів. Вид поверхонь циліндричних зразків до і після їх механічного очищення наведено в табл. 4.

З аналізу виду поверхонь (див. табл. 4) випливає, що механічний пригар на всіх без винятку зразках був відсутній. Пригар на зразках зі сталі і чавуну відноситься до різновидів хімічного пригару. При цьому кірка пригару на сталевих зразках була тендітною і відокремлювалася легко вже під час вибивання зразка з форми. Пригар на чавунному зразку був пухкий важ-

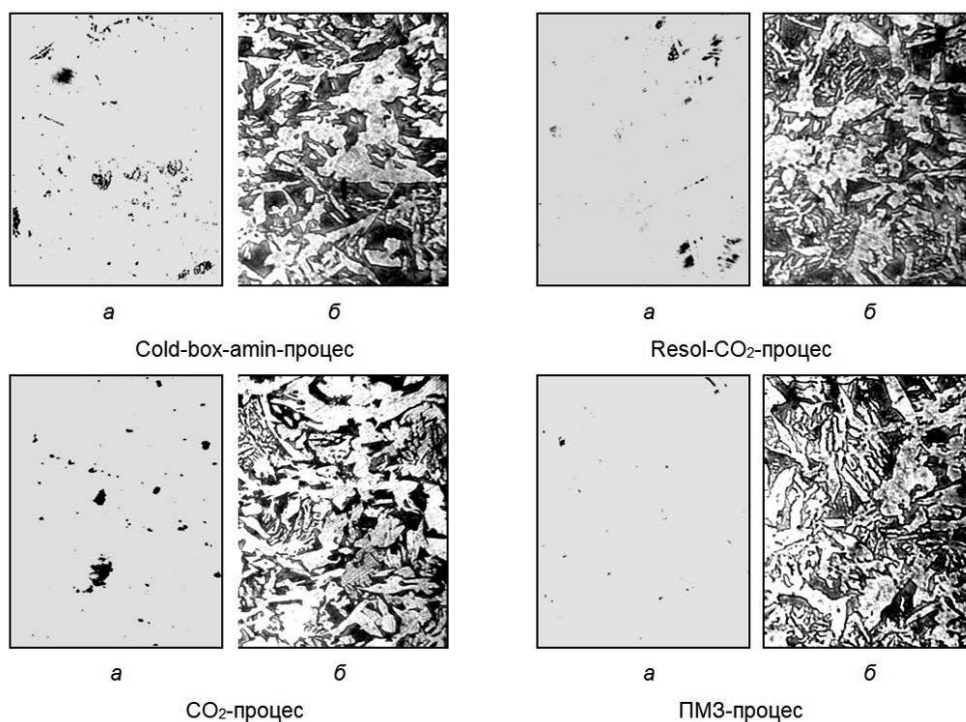


Рис. 6. Поверхня нетравлених (а) і травлених ніталем (б) шліфів сталі 30Л.  $\times 200$

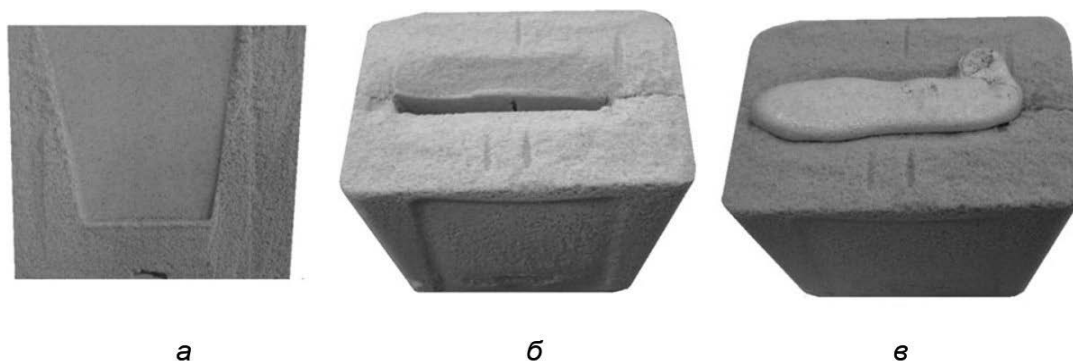


Рис. 7. Вид робочих поверхонь форми (а), форма в зборі після склеювання її половин (б), форма залита розплавом сплаву АЛ2 (в)

ковидальємий. Поверхня зразків з бронз і алюмінієвого сплаву була покрита шаром термічного пригару, що виник в результаті спікання силікату натрію в формувальній суміші, що прилягає до поверхні зразків.

Термічний пригар на всіх зразках легко відокремлювався в процесі очищення їх металевою щіткою, пригар з поверхні зразка зі сплаву АЛ2 видаляли ворсовою щіткою.

Для визначення шорсткості поверхні виливків зі сплаву АЛ2, заливали клиновидні виливки в клеєні форми. Половини таких форм були виготовлені з сумішей, які мали різний вміст РС і структуровані за ПМЗ-процесом. Одна половина такої форми містила 1 %мас. РС, інша – 2,5 %мас. РС (понад 100 % піску). Вид робочих поверхонь форми, форма в зборі після склеювання її половин, форма залита розплавом сплаву АЛ2 представлені на рис. 7.

В роботі клиновидні виливки виготовляли не тільки в формах з різним вмістом РС в плакованих шарів, але і заливали розплав при різній величині перегріву, що слідує з даних табл. 5.

Вид литої поверхні клиноподібних виливків з алюмінієвого сплаву АЛ2 представлено на рис. 8.

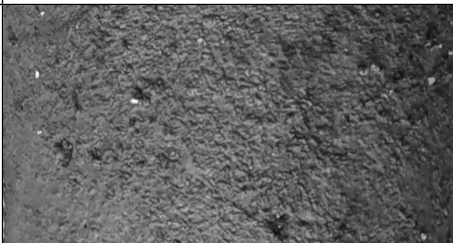
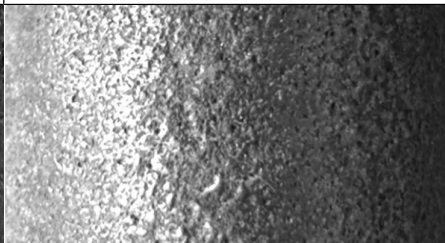

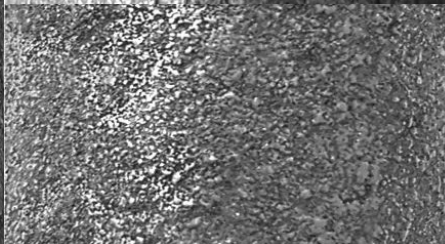
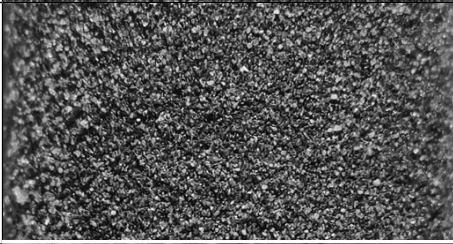
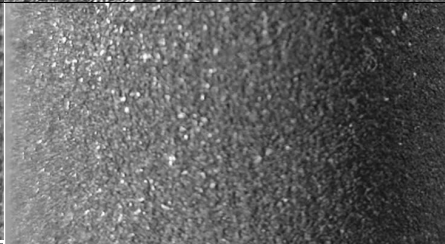
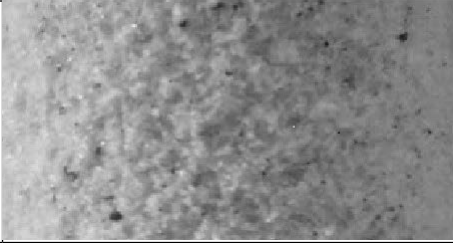

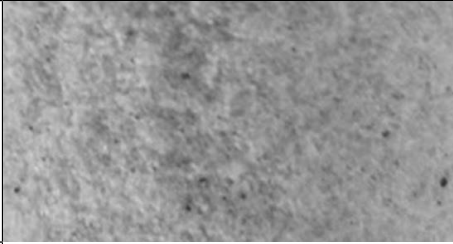
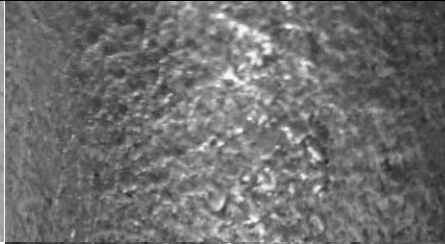
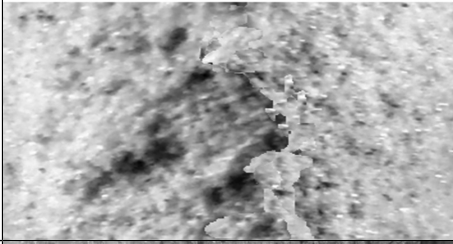
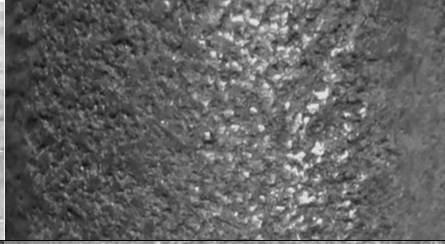

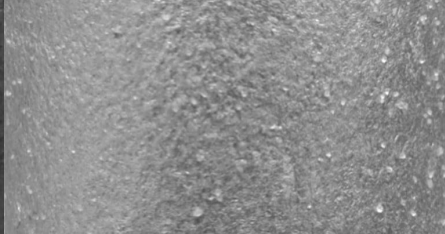
Результати вимірювання і обчислення параметрів шорсткості поверхні трапецієподібних клиновидних зразків з алюмінієвого сплаву АЛ2 представлено на рис. 9 і в табл. 6.

Результати визначення параметрів шорсткості литих поверхонь свідчать про те, що зі збільшенням вмісту в суміші РС, використаного для плакування кварцового піску, а також температури перегріву розплаву при заливці в форму, клас шорсткості поверхні виливків збільшується. В даному випадку від 5–6 класу за ГОСТ 26645 у зразків, розплав яких при заливці мав перегрів 120 °С, а пісок був плакований 1 %мас. РС, до 10–14 у зразків, розплав яких при заливці мав перегрів 160 °С, а пісок був плакований 2,5 %мас. РС. При цьому збільшення перегріву розплаву підвищує шорсткість на 4–6 класів, а збільшення вмісту РС – на 1–3 класів.

Слід зазначити, що шорсткість поверхні виливка, що твердіє в суміші з РС, використаного для плакування

Таблиця 4

Вид поверхонь циліндричних зразків, відлитих в піщано-рідкоскляні форми, що виготовлені за ПМЗ-процесом

Марка сплаву (категорія і бал пригару за класифікаціями Ф.Д. Оболенцева)	Вид пригару на виливку після його вибивання	Вид поверхні виливка після очищення металевою щіткою (для алюмінієвого сплаву – ворсовою щіткою)
Сталь 30Л (пригар дуже слабкий, бал – 1)		
Сталь 20Х24Н18С2Л (пригар дуже слабкий, бал – 1)		
Чавун сірий СЧ20 (пригар слабкий, бал – 2)		
Бронза БрА9Ж3л (пригар дуже слабкий, бал – 1)		
Бронза БрО5Ц5С5 (пригар слабкий, бал – 2)		
Бронза БрО4Ц4С17 (пригар слабкий, бал – 2)		
Сплав алюмінієвий АЛ2 (пригару немає, бал – 1)		

Таблиця 5

Нумерація клиновидних виливків і особливості їх виготовлення

Номер вилівка	Масовий вміст РС, що використано на плакування кварцового піску, %	Температура перегріву розплаву при заливці, °С
1	1	120
2	2,5	
3	1	160
4	2,5	

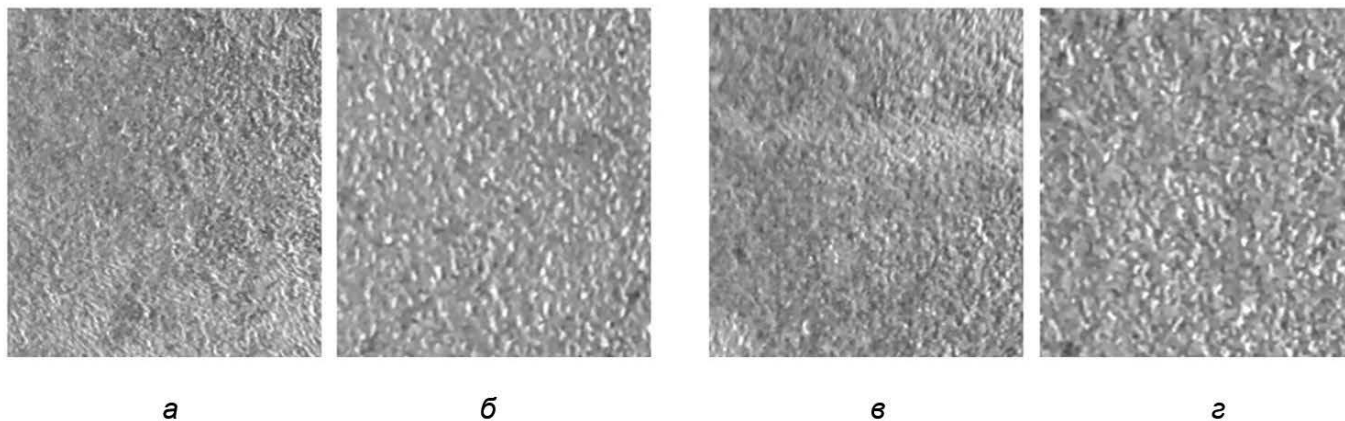


Рис. 8. Вид литої поверхні клиноподібного вилівка (див. табл. 5) № 1 (а); № 2 (б); № 3 (в); № 4 (г),  $\times 7$

Таблиця 6

Величини показників шорсткості зразка

Показник	Розмірність	Величина для зразка			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Вміст РС, що пішло на плакування піску	%мас. (понад 100 % піску)	1	2,5	1	2,5
Перегрів розплаву АЛ2 при заливці в форму	°С	120 ± 5	120 ± 5	160 ± 5	160 ± 5
Клас шорсткості	за ГОСТ 2789	4	4	3	3-2
	за ISO 1302	9	9–10	10–11	11–12
	за ГОСТ 26645	5–6	5–8	9–11	10–14
Середньоарифметичне відхилення (Ra)	мкм	5,19–6,20	6,17–7,52	12,4–20,4	16,6–35,5
Висота нерівності по 10 точкам (Rz)	мкм	22,0–31,2	25,6–27,6	52,5–68,5	77,1–96,2
Максимальна висота нерівностей (Rmax, Ry)	мкм	42,5–32,3	42,1–36,8	85,1–112,0	126,0–191,0
Висота максимального виступу (Rp)	мкм	20,1–10,3	19,4–11,8	47,9–64,5	64,4–101,0
Глибина максимальної западини (Ry, Rm)	мкм	22,1–26,6	20,6–25,0	37,2–47,4	61,7–90,1
Середній крок нерівності (Sm)	мкм	114,0–98,6	204,0–135,0	140,0–186,0	196,0–249,0
Середній крок місцевих виступів (S)	мкм	12,3–14,2	15,9–13,6	17,4–24,6	20,1–31,7
Середня довжина хвилі ( $\lambda_a$ )	мкм	153,0–117,0	150,0–157,0	161,0–208,0	207,0–294,0



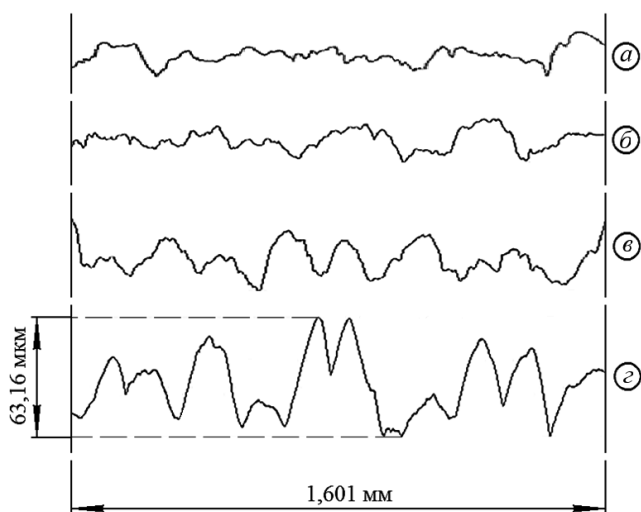


Рис. 9. Фрагмент комп'ютерного протоколу профілограм поверхонь зразків № 1 (а); № 2 (б); № 3 (в) та № 4 (г)

кварцового піску, залежить і від способу підготовки плакованого піску до структурування. Зокрема, використання плакованого піску, просіяного попередньо через сито з осередком 0,4 мм, дозволяє виготовляти ЛФС з більшою уявною щільністю, ніж плакований пісок, просіяний через сито з осередком 0,63. Про це свідчить хід залежностей, представлених на рис. 10.

У свою чергу, як відомо, підвищення уявної щільності матеріалу ЛФС сприяє не тільки зменшенню величини шорсткості виливка, але і знижує ймовірність появи на ній механічного пригару.

**Обговорення результатів.** Порівняльний аналіз мікроструктур циліндричних зразків зі сталі 30Л показав, що незалежно від типу формувальної суміші їх мікроструктури практично ідентичні. Якість поверхні зразків зі сталі 30Л в міру її поліпшення дозволяє використати ливарні форми встановити в наступний ряд:

CO<sub>2</sub>-процес → Cold-box-amin-процес → ПМЗ-процес → Resol-CO<sub>2</sub>-процес.

З цього випливає, що при необхідності підвищення чистоти поверхні виливків, робочі поверхні ЛФС, які виготовляють за ПМЗ-процесом, доцільно попередньо покрити вогнетривкою фарбою на розчиннику органічного походження, наприклад, ізопропілового спирту. Щоб уникнути появи важковидляемого пригару на виливках, що найбільш ймовірно при заливці в форми чавуну, олов'яної або свинцевої бронзи або в разі значного металостатичного тиску в формі, робочі поверхні ЛФС, як і в описаному вище випадку, слід покрити вогнетривкою фарбою.

Шорсткість поверхні виливків, виготовлених в формах, структурованих за ПМЗ-процесом, відповідає 5–8 класу за ГОСТ 26645 (при просіюванні плакованого піску через сито з розміром осередку 0,4 мм) і знаходиться на рівні шорсткості поверхні лиття, що виготовляється в оболонкові форми (див. табл. 3). При цьому при інших рівних умовах, шорсткість поверхні виливка залежить не тільки від масового вмісту РС, використаного для плакування кварцового піску, а й фракційного складу використовуваного плакованого піску.

Така закономірність обумовлена величиною уяв-

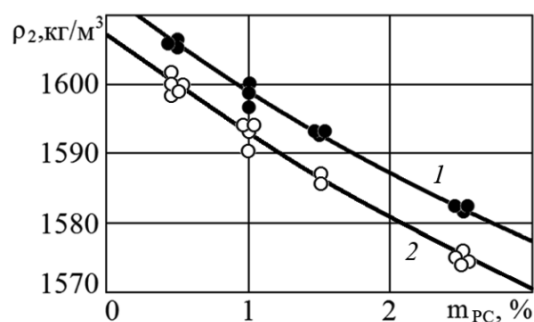


Рис. 10. Залежність уявної щільності піщано-рідкоскляної суміші, структурованої за ПМЗ-процесом, від маси РС, використаного для плакування кварцового піску і величини осередку сита при просіюванні плакованого піску: 1 – сито з осередком 0,4 мм; 2 – сито з осередком 0,63 мм

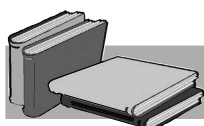
ної щільності структурованої суміші (ливарної форми, стрижня), яка зі свого боку в способі ПМЗ залежить від величини конгломератів зерен використовуваного піску і визначається величиною осередку сита, використовуваного для просіювання сухого плакованого піску перед його структуруванням.

Ливарні форми і стрижні, виготовлені за способом ПМЗ, можна використовувати як з незабарвленими, так і пофарбованими вогнетривкою фарбою робочими поверхнями для виробництва виливків із сталей, чавуну, бронзи, алюмінієвих сплавів.

### Висновки і перспективи досліджень

Якість поверхні виливків, виготовлених в формах за ПМЗ-процесом, не поступається якості поверхні виливків, виготовлених в формах за Cold-box-amin, Resol-CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>-процесами і знаходиться на рівні якості (за чистотою поверхні) з виливками, що виготовляють в оболонкових формах. Якщо врахувати, що ПМЗ-процес екологічно безпечніший, ніж Cold-box-amin, Resol-CO<sub>2</sub>, і економічніший, ніж Cold-box-amin, Resol-CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>-процеси, то цей спосіб виготовлення ЛФС, з числа перерахованих способів, при наявності відповідного обладнання та оснащення, є найбільш перспективним для виготовлення дрібного і середнього литва загальномашинобудівного призначення із залізобетонних і легкоплавких кольорових сплавів.

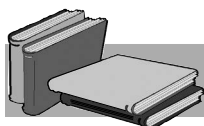
Перспективні дослідження повинні бути спрямовані на встановлення закономірностей впливу ряду основних параметрів плакованих рідкоскляних сумішей і умов виготовлення ЛФС за способом ПМЗ на якість литва та оптимізацію умов структурування подібних сумішей в умовах виробництва виливків сучасних ливарних цехів.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Разумов М.С., Глазков П.В., Вязников П.В., Вантеев А.В., Бышкин А.С. Выбор рациональной температуры литья алюминия марки АК-9. *Современные материал, техника и технологии*. 2019. № 6 (27). С. 4–7.
2. Илларионов И.Е. Пути улучшения качества отливок. *Теория и технология металлургического производства*. 2016. № 1 (18). С. 39–42.
3. Оболенцев Ф.Д. Качество литых поверхностей. М.-Л.: Машгиз, 1961. 182 с.
4. Черногоров П.В., Васин Ю.П. Получение отливок с чистой поверхностью. М.: Машгиз, 1961. 144 с.
5. Кукуй Д.М., Николайчик Ю.А., Судник Л.В. Термодинамический анализ химических реакций в контактной зоне металл-противопригарное покрытие. *Литейное производство*. 2012. № 3 (57). С. 51–56.
6. Николайчик Ю.А., Рудницкий Ф.И., Батайчук А.В., Мудрый В.В. Анализ методов профилактики пригара на поверхности стальных и чугунных отливок. *Литейное производство*. 2015. № 1 (78). С. 23–28.
7. Ягопольский А.Г., Куца А.Ю., Савохина О.М., Зайцев А.Н. Повышение эксплуатационных характеристик литых станин и корпусных деталей на стадии их изготовления. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2015. № 3 (660). С. 35–41.
8. Крушенко Г.Г. Повышение чистоты поверхности металлоизделий с применением нанотехнологий. *Вестник СубГАУ*. 2016. № 2 (17). С. 484–489.
9. Stagno E. Behaviour of sintered 410 low carbon steels towards ion nitriding. *Journal of Alloys and Compounds*. 2015. № 24. P. 2122–2134.
10. Zhao J., Jiang Z. Thermomechanical processing of advanced high strength steels. *Progress in Materials Science*. 2018. № 94. P. 174–242.
11. Швецов В.И., Иванов М.А., Кулаков Б.А., Каркарин А.М. Процессы образования и предотвращения пригара на стальных отливках. *Вестник ЮУрГУ*. 2015. № 1 (15). С. 17–23.
12. Ясюков В.В., Воронова О.И., Рудницкий Я.М. Влияние пригара на свойства отливок и меры борьбы с ним. *Металл и литье Украины*. 2016. № 6 (227). С. 17–21.
13. Васильовский И.В. Пригар на отливках. М.: Машиностроение, 1983. 192 с.
14. Лакедемонский А.В., Кваша Ф.С., Медведев Я.И. и др. Литейные дефекты и способы их устранения. М.: Машиностроение, 1972. 152 с.
15. Одарченко И.Б., Прусенко И.Н. Процессы взаимодействия жидкого металла и литейного стержня при формировании качества внутренних полостей отливок. *Литейное производство*. 2015. № 4 (81). С. 33–37.
16. Кечин В.А., Селихов Г.Ф., Афонин А.Н. Проектирование и производство литых заготовок. Владим. гос. ун-т. Владимир, 2002. 228 с.
17. Солоненко Л.І., Реп'ях С.І., Узлов К.І. Кінетика структування піщано-рідкоскляних сумішей паро-мікрохвильовим затвердінням. *Теорія і практика металургії*. 2019. № 4. С. 50–60. URL: [https://nmetau.edu.ua/file/9\\_.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/9_.pdf)
18. Солоненко Л.І., Реп'ях С.І., Узлов К.І., Усенко Р.В. Міцність піщано-рідкоскляної суміші, яка структурована способом паро-мікрохвильового затвердіння. *Теорія і практика металургії*. 2019. № 6. С. 33–39. URL: [https://nmetau.edu.ua/file/ktmp\\_4778.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/ktmp_4778.pdf)
19. Solonenko L.I., Usenko R.V., Dziubina A.V., Uzlov K.I., Repiakh S.I. Sodium silicate solute foaming in a flat slot-type capillary under microwave radiation influence. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 6. P. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/034>

Надійшла 13.01.2021



## REFERENCES

1. Razumov, M.S., Glazkov, P.V., Vyaznikov, P.V., Vanteev, A.V., Byshkin, A.S. (2019). Selection of a rational temperature for casting AK-9 aluminum. *Modern material, technique and technology*, no. 6 (27), pp. 4–7 [in Russian].
2. Illarionov, I.E. (2016). Ways to improve the quality of castings. *Theory and technology of metallurgical production*, no. 1 (18), pp. 39–42 [in Russian].
3. Obolentsev, F.D. (1961). The quality of the cast surfaces. Moscow-Leningrad: Mashgiz, 182 p. [in Russian].
4. Chernogorov, P.V., Vasin, Yu.P. (1961). Obtaining castings with a clean surface. Moscow: Mashgiz, 144 p. [in Russian].
5. Kukuy, D.M., Nikolaychik, Yu.A., Sudnik, L.V. (2012). Thermodynamic analysis of chemical reactions in the contact zone of a metal-non-stick coating. *Foundry*, no. 3 (57), pp. 51–56 [in Russian].

6. Nikolaychik, Yu.A., Rudnitskiy, F.I., Bataychuk, A.V., Mudryi, V.V. (2015). Analysis of methods for preventing burn-in on the surface of steel and iron castings. *Foundry*, no. 1 (78), pp. 23–28 [in Russian].
7. Yagopolskiy, A.G., Kutsaya, A.Yu., Savokhina, O.M., Zaitsev, A.N. (2015). Improving the operational characteristics of cast beds and body parts at the stage of their manufacture. *News of higher educational institutions. Mechanical engineering*, no. 3 (660), pp. 35–41 [in Russian].
8. Krushenko, G.G. (2016). Improving the surface cleanliness of metal products using nanotechnologies. *Bulletin of SibGAU*, no. 2 (17), pp. 484–489 [in Russian].
9. Stagno, E. (2015). Behavior of sintered 410 low carbon steels towards ion nitriding. *Journal of Alloys and Compounds*, no. 24, pp. 2122–2134.
10. Zhao, J., Jiang, Z. (2018). Thermomechanical processing of advanced high strength steels. *Progress in Materials Science*, no. 94, pp. 174–242.
11. Shvetsov, V.I., Ivanov, M.A., Kulakov, B.A., Karkarin, A.M. (2015). Processes of formation and prevention of burn-in on steel castings. *Bulletin of SUSU*, no. 1 (15), pp. 17–23 [in Russian].
12. Yasyukov, V.V., Voronova, O.I., Rudnitskiy, Ya.M. (2016). Effect of burn-in on the properties of castings and measures to combat it. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 6 (227), pp. 17–21 [in Russian].
13. Vasilovsky, I.V. (1983). Burn-in on castings. Moscow: Mashinostroenie, 192 p. [in Russian].
14. Lakedemonskiy, A.V., Kvasha, F.S., Medvedev, Ya.I. et al. (1972). Foundry defects and methods for their elimination. Moscow: Mashinostroenie, 152 p. [in Russian].
15. Odarchenko, I.B., Prusenko, I.N. (2015). Processes of interaction of liquid metal and a casting core during the formation of the quality of the internal cavities of castings. *Foundry*, no. 4 (81), pp. 33–37 [in Russian].
16. Kechin, V.A., Selikhov, G.F., Afonin, A.N. (2002). Design and manufacture of cast billets. Vladim. state un-t. Vladimir, 228 p. [in Russian].
17. Solonenko, L.I., Repyakh, S.I., Uzlov, K.I. (2019). Kinetics of sand-sodium silicate solute mixtures structuring by steam-microwave solidification. *Theory and practice of metallurgy*, no. 4, pp. 50–60. URL: [https://nmetau.edu.ua/file/9\\_.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/9_.pdf) [in Ukrainian].
18. Solonenko, L.I., Repyakh, S.I., Uzlov, K.I., Usenko, R.V. (2019). Strength of sand-sodium-silicate mixture structured by steam-microwave solidification method. *Theory and practice of metallurgy*, no. 6, pp. 33–39. URL: [https://nmetau.edu.ua/file/ktmp\\_4778.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/ktmp_4778.pdf) [in Ukrainian].
19. Solonenko, L.I., Usenko, R.V., Dziubina, A.V., Uzlov, K.I., Repiakh, S.I. (2020). Sodium silicate solute foaming in a flat slot-type capillary under microwave radiation influence. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 6, pp. 34–40, doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/034>

Received 13.01.2021

## Summary

**L.I. Solonenko**<sup>1</sup>, PhD (Engin.), Associated Professor at the Department of Technology and Management of Foundry Processes,  
 e-mail: [solonenkoli14@gmail.com](mailto:solonenkoli14@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2092-8044>  
**S.I. Repyakh**<sup>2</sup>, Dr. Sci. (Engin.), Professor at the Department of Foundry,  
 e-mail: [123rs@ua.fm](mailto:123rs@ua.fm), <https://orcid.org/0000-0003-0203-4135>  
**O.P. Bilyi**<sup>2</sup>, Senior Lecturer at the Department of Foundry,  
 e-mail: [baplitvo@gmail.com](mailto:baplitvo@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1234-5404>

<sup>1</sup>Odessa Polytechnic State University (Odessa, Ukraine)

<sup>2</sup>National Metallurgical Academy of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

## Influence of sand-sodium-silicate molds structured by steam-microwave solidification on castings surface burn-in and roughness

*The purpose of this work is to study the effect of sand-liquid glass molds, structured by the method of steam-microwave hardening (SMH-process), on the burn-in and roughness of the casting. The studies used molds prepared by the Cold-box-amin-process, Resol-CO<sub>2</sub>-process, CO<sub>2</sub>-process and SMH-process, which were filled with 30L steel. Samples of castings were cast in molds made by the SMH-process from steels 30L, 20Kh27N18S2L, gray cast iron SCh20, bronzes BrA9Zh3L, BrO5Ts5S5, BrO4Ts4S17, and aluminum alloy AL2. Overheating of all alloys above the liquidus temperature was 120 ± 7 °C. The microstructure of 30L steel samples was investigated using an MBS-10 optical microscope before and after their etching*

with nital. The roughness parameters were determined on a profilometer complete with an information-computing complex mod. 170622.

From the obtained data, it can be concluded that the surface quality of castings made by the SMH-process is not inferior to the surface quality of castings made in molds by the Cold-box-amin, Resol-CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>-process and is at the quality level (in terms of purity surface) with castings made in shell molds. Considering that the SMH-process is environmentally safer than the Cold-box-amin, Resol-CO<sub>2</sub>, more efficient and economical than the Cold-box-amin, Resol-CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>-process, then this method of making molds and cores, from among of the above methods, is the most promising for the manufacture of medium and small castings for general machine-building purposes from iron-carbon and low-melting non-ferrous alloys.

Proceeding from the foregoing, prospective studies should be aimed at establishing the regularities of the influence of a number of basic parameters of clad liquid glass mixtures and the conditions for the manufacture of molds and cores by the SMH method on the quality of casting and optimization of the conditions for structuring such mixtures in the conditions of casting production in modern foundries.

**Keywords**

Casting, surface roughness, burn-in, sand, water glass, cladding, steam-microwave hardening.