УДК 669.15`28-198 DOI: https://doi.org/10.26661/2071-3789-2021-1-04

**Григор'єв Станіслав Михайлович**, професор, доктор технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0003-3875-8880
**Скачков Віктор Олексійович**, професор, доктор технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-4447-4641
**Бережна Ольга Русланівна**, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0001-6728-5221
**Аніщенко Віра Петрівна**, аспірант, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-8277-6149

# ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГОВАНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВІДХОДІВ ЯК ВТОРИННОЇ РЕСУРСОЗБЕРІГАЛЬНОЇ РЕЧОВИНИ

Виконано аналіз сучасного стану щодо досліджень хімічного та фазового складу техногенних відходів на основі шлаків алюмотермічного виробництва лігатур та окалини швидкорізальної сталі Р6М5. Методом рентгеноструктурного фазового аналізу встановлено фазовий склад зазначених від-ходів. Мікроструктура досліджених матеріалів характеризувалася розупорядкованістю частинок різного розміру та форми. Вміст вольфраму та молібдену на досліджених ділянках окалини сталі Р6М5 складав у межах 3,45…10,73% та 2,17…6,65% відповідно. Також виявлено ділянку із вмістом хрому та ванадію відповідно 1,23% та 1,18%. Вміст кисню на досліджених ділянках становив у межах 8,52…23,16%. У зразках шлаку виробництва лігатури МФТА виявлено фази $Al_{75}Mo_{20}W_5$, $Mo(Si,Al)_3$, які мають бути присутніми у вигляді металевих вкраплень. Дослідження шлаків алюмотермічного виробництва виплавляння лігатур АХМ-50 та АМВТ свідчать, що основа складається із сполуки $CaAl_4O_7$. Шлак алюмотермічного виробництва та окалину швидкорізальної сталі було використано як компоненти шихти для виплавляння легуючого та розкислювального сплаву. Введення окалини швидкорізальної сталі до шихти дає змогу забезпечити заданий ступінь легованості сплаву тугоплавкими елементами, а введення шлаку алюмотермічного виробництва у межах 4,5…14,5% дає змогу підвищити легованість сплаву, а також його десульфурацію.

Ключові слова: леговані техногенні відходи, окалина сталі Р6М5, шлак алюмотермічного виробництва, мікроструктурні та рентгеноструктурні дослідження

*Вступ*. Одним з альтернативних джерел виробництва легуючих матеріалів з вмістом вольфраму, молібдену, хрому та ванадію є повернення у виробництво легованих техногенних відходів. До них відносять шлаки алюмінотермічного виробництва й окалину зі швидкорізальної сталі. Особливістю таких відходів є наявність легуючих елементів у вигляді оксидів і комплексних сполук. Це змушує враховувати складний характер фізико-хімічної взаємодії елементів під час розробки технологічних умов поховання.

Отже, проблема ресурсо- та енергозбереження зі зменшенням втрат легуючих елементів під час переробки та використання шлаків алюмінотермічного виробництва й окалини швидкорізальних сталей у металургії є актуальною. Для цього потрібно виконати дослідження фазового складу та мікроструктури техногенної сировини, де поряд з компонентами, що утворюють шлак, і залізом є присутніми коштовні тугоплавкі елементи, які легують.

*Аналіз літературних даних та постановка проблеми.* Спосіб переробки оксидної техногенної сировини на практиці має позитивні результати під час відновлення

© С.М. Григорєв, В.О. Скачков, О.Р. Бережна, В.П. Аніщенко, 2021

вуглецем [1], а також комплексом вуглець-кремній [2] за умов відновного плавлення. Особливо це відноситься до окалини та інших дрібнодисперсних техногенних відходів, які забруднено мінеральними маслами й емульсіями, котрі потребують рафінування від шкідливих домішок.

Результати досліджень авторів роботи [3] показали, що залізна окалина складається з $Fe_3O_4$, $Fe_2O_3$ та *Fe* О. Подібні результати були одержані авторами роботи [4] під час дослідження прокатної залізної окалини. Можливість наявності в окалині фази заліза разом з оксидними фазами також вказана авторами роботи [5]. Під час досліджень окалини сталі Р18 в роботі [6] показано можливість присутності оксидних сполук із вмістом тугоплавких елементів, що легують. Це важливо, тому що вищі оксиди молібдену та вольфраму з підвищенням температури мають відносно високу схильність до сублімації, що може стати причиною суттєвих втрат тугоплавких елементів під час переробки техногенних відходів.

Згідно з результатами досліджень у роботі [7], шлак від виробництва ферохрому містить 3,5 % $Cr_2O_3$ і може додатково вміщувати до 9 % металевого хрому. Інші компоненти подано у вигляді $Al_2O_3$, $MgO$, $SiO_2$, $CaO$, $FeO$ і *Si* С. У роботі [8] за допомогою рентгеноструктурного аналізу визначено, що шлак алюмінотермічного виробництва ферохрому складається, в основному, з фаз $Al_2O_3$ і металевого хрому. При цьому проявлення дифракційного максимуму хрому мало значну інтенсивність, що вказує на наявність значного залишкового вмісту зазначеного елемента в шлаку та визначає доцільність його подальшого вилучення.

Витягування хрому з ванадієвого конвертерного шлаку автори роботи [9] виконували з використанням відновників вуглецю та кремнію. Автори зазначили, що шлак може складатися з оксидів ванадію сумісно з $SiO_2$, $FeO$, $MnO$ і *Ti* О.

Відновлення ванадієвого шлаку із застосуванням вуглецю та кремнію з метою вилучення ванадію на практиці було досліджено авторами роботи [10]. Кількість оксиду $V_2O_5$ в шлаку становило 4,35 %. Також були присутні оксиди $FeO$, $CaO$, $Al_2O_3$, $MgO$, $SiO_2$, $MnO$, $TiO$, $Cr_2O_3$ і $P_2O_5$. Досягнута ступінь вилучення ванадію склала більше ніж 95 %. Слід зазначити, що оксидні сполуки ванадію в шлаку мають відносно високу схильність до випаровування. Це підтверджується авторами роботи [11] під час дослідження втрат ванадію у процесі випаровування оксидів із зразків шлаків, що вміщують ванадій, системи $CaO$-$MgO$-$Al_2O_3$-$SiO_2$. Наведені результати свідчить про доцільність відновлення оксидних сполук ванадію з переведенням їх у карбіди та силіциди.

Автори роботи [12] методом рентгенофазного аналізу досліджували шлаки, що утворилися під час алюмотермічного виплавляння лігатури марок АВТУ (*Al-V-Ti-C*), АХМК (*Al-Cr-Mo-Si*) і АЦМО (*Al-Zr-Mo-Sn*). Основні фази шлаків АВТУ і АХМК складалися з $Al_2O_3$, $CaAl_{12}O_{19}$ та $CaOAl_{14}O_6$. У всіх зразках шлаку було виявлено наявність $CaF_2$, а в шлаку від виплавки АВТУ відносно невелику кількість *KCl*. У шлаку від виплавляння лігатури АЦМО виявлено $CaAl_2O_4$, $CaZrO_3$, $CaZr_4O_9$ і $Al_2O_3$. З результатів роботи [13] випливає, що у шлаку від виплавляння АВТУ можливою є присутність елементного вуглецю, металевої та карбідної фаз, сполук і металевих вкраплень тугоплавких і коштовних елементів, які можна вилучити та повернути у виробництво.

Необхідно відзначити наявність вагомих результатів вивчення складу окалини нелегованих марок сталей. Також є результати досліджень окалини вольфрамової швидкорізальної сталі. Але недостатньо вивчено проявлення в окалині вольфрам-молібденових марок швидкорізальних сталей фаз і сполук тугоплавких елементів вольфраму та молібдену. Також є суттєві досягнення в дослідженнях складу та переробки шлаків металургійного виробництва. Одними з найбільш перспективних для переробки та

вилучення коштовних компонентів є шлаки алюмотермічного виробництва лігатур на основі тугоплавких елементів.

Проте при цьому недостатньо вивчено природу фаз і сполук, де є присутніми тугоплавкі елементи. Дослідження в цьому напрямку можуть забезпечити в процесі переробки техногенних відходів значне зменшення втрат молібдену, вольфраму та інших елементів, що легують, шляхом сублімації за умов підвищення температури. Використання в зазначених дослідженнях растрової електронної мікроскопії разом з рентгенівським мікроаналізом дозволить значно поширити уявлення про будову та склад окремих ділянок мікроструктури у техногенних відходах.

*Мета і завдання досліджень.* Мета роботи полягала в дослідженні особливостей фізико-хімічних властивостей шлаків алюмотермічного виробництва та окалини вольфрам-молібденової швидкорізальної сталі Р6М5 як легованої техногенної вторинної сировини. Це потрібно для визначення параметрів, що знижують втрати молібдену, вольфраму та інших елементів сублімацією оксидів під час переробки легованих техногенних відходів.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено таке завдання:

– визначити особливості фазового складу та мікроструктури шлаків алюмотермічного виробництва щодо природи присутності легуючих елементів;

– дослідити особливості фазового складу та мікроструктури окалини вольфрам-молібденової швидкорізальної сталі Р6М5 як легованої техногенної вторинної сировини.

*Матеріали та методи дослідження техногенних відходів*. Дослідження виконували зі шлаками алюмотермічного виробництва (ТУ 48–0514–34–87), одержаними після виплавляння лігатур тугоплавких елементів АМВТ (ТУ 48–4–306–88), МФТА (ТУ 48–4–365–88) та АХМ-50 (ТУ 48–4–365–88).

Також використовували окалину швидкорізальної сталі марки Р6М5 такого складу, %: 5,75 *W*; 4,81 *Mo*; 3,85 *Cr*; 1,65 *V*; 0,75 *C*; 0,15 *Si*; 0,24 *Ni*; 0,21 *Mn*; 0,12 *Cu*; 0,07 *Co*; 0,027 *P*; 0,009 *S*; 27,0 O; *Fe* – залишок.

Рентгеноструктурний фазовий аналіз здійснювали на дифрактометрі «*Дрон*-6». Для мікроструктурних досліджень використовували растрові електронні мікроскопи «*РЕМ*-106И» (*Україна*) та «*JSM* 6360LA» (*Японія*).

Фазовий склад визначили методом рентгеноструктурного аналізу з використанням монохроматичного випромінювання $CoK_\alpha$ ($\lambda$ = 0,178897 Å). Вимірювання виконували за напруги на трубці $U$ = 30 кВ та анодного струму $I$ = 10 мА. Склад фаз визначали за допомогою комплексу програм «*PDWin* 2.0».

Дослідження мікроструктури зразків здійснювали за прискорювальної напруги 20…25 кВ і струмом електронного зонда 52…96 мкА. Робоча відстань до дослідженої поверхні складала 10,8…12,3 мм.

*Результати досліджень властивостей легованих вторинних матеріалів.* За результатами фазових досліджень зразки шлаку алюмотермічного виробництва лігатури АМВТ, в основному, мали у своєму складі оксид $CaAl_4O_7$ та ванадійвмісну сполуку $AlV_2O_4$. Сполуку $CaAl_4O_7$ також було виявлено в зразках шлаку виробництва лігатури АХМ-50. Хромвмісну складову представлено оксидом $CrO_2$. Зразки шлаку виробництва лігатури МФТА, в основному, складалися зі складних сполук $Al_{75}Mo_{20}W_5$ та $Mo(Si, Al)_3$.

Окалина швидкорізальної сталі марки Р6М5 представлена оксидами $Fe_3O_4$, $Fe_2O_3$ та *Fe* O. Разом з цим виявлено проявлення комплексного оксиду $FeWO_4$.

Молібденвмісні сполуки представлено оксидом $MoO_2$ та карбідом $Mo_2C$. Також було виявлено проявлення карбіду *WC*.

Мікроструктура досліджених техногенних матеріалів є розупорядкованою та складалася із часточок різного розміру та форми. Вміст вольфраму та молібдену на досліджених

ділянках окалини сталі Р6М5 зафіксовано в межах 3,45…10,73 % та 2,17…6,65 % відповідно. Також виявлено ділянку з вмістом хрому та ванадію 1,23 та 1,18 % відповідно. Вміст кисню на досліджених ділянках зафіксовано в межах 8,52…23,16 %. Основу матеріалів складало залізо.

*Аналіз результатів досліджень властивостей легованих вторинних матеріалів.* Дослідження шлаків алюмотермічного виробництва виплавки лігатур АХМ-50 та АМВТ свідчать, що основа складається із $CaAl_4O_7$, що добре узгоджується з результатами досліджень [12]. При цьому відмінність полягає у виявленні сполук тугоплавких елементів $AlV_2O_4$ та $CrO_2$. У зразках шлаку виробництва лігатури МФТА виявлено фази $Al_{75}Mo_{20}W_5$, $Mo(Si, Al)_3$, що можуть бути присутніми у вигляді металевих вкраплень. Відповідні досліджені зразки, напевно, мали скупчення вкраплень зазначених фаз. Це узгоджується з результатами робіт [7; 8; 13], де у досліджених зразках відзначається присутність часточок металевої складової. Мікроструктура досліджених шлаків є різнорідною та складалася із розупорядкованих часточок.

Виконані дослідження свідчать, що фазовий склад окалини сталі Р6М5, в основному, складається з $Fe_3O_4$, $Fe_2O_3$ та $FeO$, що добре узгоджується з результатами робіт [3–6]. Відмінністю є виявлення у складі сполук за участі тугоплавких елементів: $FeWO_4$, $MoO_2$, $WC$, $Mo_2C$, що зумовлено підвищеним ступенем легованості вольфраму та молібдену. Присутність в окалині часточок з відносно високим вмістом легуючих елементів підтверджується результатами рентгенівського мікроаналізу. Не виключено, що деяка частка атомів легуючих елементів, в тому числі хром і ванадій, може знаходитися у якості атомів заміщення в оксидах заліза. Мікроструктура окалини характеризувалася розупорядкованістю часточок різного розміру та форми.

Порівнюючи результати досліджень властивостей шлаків алюмотермічного виробництва та окалини сталі Р6М5 слід зазначити, що схожим є присутність у складі зазначених сполук тугоплавких елементів. При цьому тугоплавкі елементи знаходилися зв'язаними в оксидних або складних сполуках, що зумовлює застосування додаткових відновлювальних процесів та переробку для вторинного використання. Згідно одержаним результатам у досліджених матеріалах є відсутніми сполуки з відносно високою схильністю до сублімації, тобто немає потреби створення спеціальних умов, що запобігають випаровуванню та втраті легуючих елементів з газовою фазою. Це також зумовлює підвищення ступеня використання легуючих елементів і зменшує певні обмеження додавання досліджених шлаків у шлакоутворювальні суміші та температурні обмеження плавлення.

Шлак алюмотермічного виробництва та окалину швидкорізальної сталі було використано як компоненти шихти для виплавляння легувального та розкислювального сплаву згідно ТУ 14–146–87–90. Введення окалини до шихти дає змогу забезпечити заданий ступінь легованості сплаву тугоплавкими елементами за утилізації дрібнодисперсних оксидних відходів. Практична значимість введення шлаку полягає в забезпеченні рафінувальної здатності шлакової суміші, можливістю додаткового вилучення тугоплавких елементів зі шлаку та зниження собівартості сплаву. Введення до складу шихти шлаку алюмотермічного виробництва згідно ТУ 48–0514–34–87 в межах 4,5…14,5 % забезпечує підвищення легованості сплаву. Досягнуто підвищення вмісту тугоплавких елементів за рахунок відновлення із оксидів та вилучення із металевих вкраплень із шлаку в межах 1,89…6,09 кг/т. Також спостерігалося деяке підвищення десульфурації сплаву.

*Висновки*

1. Виконаними дослідженнями встановлено, що основу шлаків алюмотермічного виробництва лігатур марок АХМ-50 та АМВТ становить $CaAl_4O_7$. Разом з цим виявлено

сполуки з тугоплавкими елементами $AlV_2O_4$ та $CrO_2$. В зразках шлаку виплавляння лігатури МФТА виявлено фази $Al_{75}Mo_{20}W_5$ та $Mo(Si, Al)_3$. Мікроструктура є різнорідною та такою, що складалася із розупорядкованих часточок.

2. Фазовий склад окалини сталі Р6М5, в основному, складався з $Fe_3O_4$, $Fe_2O_3$ та *Fe* O. Також виявлені сполуки з тугоплавкими елементами: $FeWO_4$, $MoO_2$, *WC* та $Mo_2C$. Зафіксовано ділянки мікроструктури з відносно високим вмістом вольфраму та молібдену, а також ділянки з присутністю хрому та ванадію. Можливим є заміщення в оксидних сполуках частки атомів заліза на атоми тугоплавких легуючих елементів.

## Бібліографічний перелік


1. Pan J., Zheng G., Zhu D., Zhou X. Utilization of nickel slag using selective reduction followed by magnetic separation. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2013. Vol. 23, Issue 11. P. 3421–3427.
2. Hryhoriev S., Petryshchev A., Shyshkanova G., Zaytseva T., Frydman O., Krupey K. A study of environmentally friendly recycling of technogenic chromium and nickel containing waste by the method of solid phase extraction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, Issue 10(91). P. 44–49.
3. Mechachti S., Benchiheub O., Serrai S., Shalabi M. Preparation of iron Powders by Reduction of Rolling Mill Scale. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2013. Vol. 4, Issue 5. P. 1467–1472.
4. Shatokha V.I., Gogenko O.O., Kripak S.M. Utilising of the oiled rolling mills scale in iron ore sintering process. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011. Vol. 55, Issue 4. P. 435–440.
5. Liu S., Wu H.-B., Yu W., Wang L.-D., Cai Z.-X., Tang D. Influence of hot-rolling parameters on the microstructure and corrosion-resistance of oxide scales. *Cailiao Kexue yu Gongyi/Material Science and Technology*. 2013. Vol. 21, Issue 6. P. 84–90.
6. Hryhoriev S., Petryshchev A., Belokon' K., Krupey K., Yamshinskij M., Fedorov G. Determining the physical-chemical characteristics of the carbon-thermal reduction of scale of tungsten high-speed steels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2, Issue 6(92). P. 10–15.
7. Zhdanov A.V., Zhuchkov V.I., Dashevskiy V.Ya., Leontyev L.I. Wastes generation and use in ferroalloy production. Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global Ferroalloy industry: Proceedings of the Fourteenth International Ferroalloys Congress INFACON XIV. 2015. P. 754–758.
8. Lazarevskiy P.P., Gizatulin R.A., Romanenko Y.E., Valuev D.V., Valueva A.V., Serikbol A. Extraction of Chromium from Carbon Ferrochromium Residual Wastes. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 91. P. 012038.
9. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Dmitrienko V.I., Golodova M.A., Efimenko Y.A. Reduction of metals from vanadium converter slag by means of carbon and silicon. *Steel in Translation*. 2014. Vol. 44, Issue 2. P. 99–102.
10. Lindvall M., Rutqvist S., Ye G. Recovery of vanadium from V-bearing BOF-slag using an EAF. The Twelfth International Ferroalloys Congress. Sustainable Future. Helsinki, 2010. P. 189–196.
11. Wang H., Stolyarova V.L., Lopatin S.I., Kutuzova M.E., Seetharaman S. High-temperature mass spectrometric study of the vaporization processes of V2O3 and vanadium-containing slags. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2010. Vol. 24, Issue 16. P. 2420–2430.
12. Vokhmentsev S.A., Larionov A.V., Gulyaeva R.I., Chumarev V.M. Phase composition and thermal properties of ladle smelting slags of AVTU, AKhMK and ATsMO foundry alloys. *Tsvetnye Metally*. 2017. Issue 11. P. 60–64.
13. Vokhmentsev S.A., Chumarev V.M., Larionov A.V., Zhidovinova S.V., Taranov D.V. Fazoviy sostav produktov alyuminotermicheskoy vyplavki ligatury Al-V-Ti-C. *Titan*. 2017. Issue 3(57). P. 20–23.
14. Ryabuhin A.G., Gruba O.N. Entropiya kristallicheskih oksidov hroma. *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo centra UrO RAN*. 2005. Issue 4(30). P. 36–40.


## References


1. Pan J., Zheng G., Zhu D., Zhou X. Utilization of nickel slag using selective reduction followed by magnetic separation. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2013. Vol. 23, Iss. 11. S. 3421–3427.

2. Hryhoriev S., Petryshchev A., Shyshkanova G., Zaytseva T., Frydman O., Krupey K. A study of environmentally friendly recycling of technogenic chromium and nickel containing waste by the method of solid phase extraction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, Iss. 10(91). S. 44–49.

3. Mechachti S., Benchiheub O., Serrai S., Shalabi M. Preparation of iron Powders by Reduction of Rolling Mill Scale. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2013. Vol. 4, Iss. 5. S. 1467–1472.

4. Shatokha V.I., Gogenko O.O., Kripak S.M. Utilising of the oiled rolling mills scale in iron ore sintering process. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011. Vol. 55, Iss. 4. S. 435–440.

5. Liu S., Wu H.-B., Yu W., Wang L.-D., Cai Z.-X., Tang D. Influence of hot-rolling parameters on the microstructure and corrosion-resistance of oxide scales. *Cailiao Kexue yu Gongyi/Material Science and Technology*. 2013. Vol. 21, Iss. 6. S. 84–90.

6. Hryhoriev S., Petryshchev A., Belokon' K., Krupey K., Yamshinskij M., Fedorov G. Determining the physical-chemical characteristics of the carbon-thermal reduction of scale of tungsten high-speed steels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2, Iss. 6(92). S. 10–15.

7. Zhdanov A.V., Zhuchkov V.I., Dashevskiy V.Ya., Leontyev L.I. Wastes generation and use in ferroalloy production. Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global Ferroalloy industry: Proceedings of the Fourteenth International Ferroalloys Congress INFACON XIV. 2015. S. 754–758.

8. Lazarevskiy P.P., Gizatulin R.A., Romanenko Y.E., Valuev D.V., Valueva A.V., Serikbol A. Extraction of Chromium from Carbon Ferrochromium Residual Wastes. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 91. P. 012038.

9. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Dmitrienko V.I., Golodova M.A., Efimenko Y.A. Reduction of metals from vanadium converter slag by means of carbon and silicon. *Steel in Translation*. 2014. Vol. 44, Iss. 2. S. 99–102.

10. Lindvall M., Rutqvist S., Ye G. Recovery of vanadium from V-bearing BOF-slag using an EAF. The Twelfth International Ferroalloys Congress. Sustainable Future. Helsinki, 2010. S. 189–196.

11. Wang H., Stolyarova V.L., Lopatin S.I., Kutuzova M.E., Seetharaman S. High-temperature mass spectrometric study of the vaporization processes of V2O3 and vanadium-containing slags. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2010. Vol. 24, Iss. 16. S. 2420–2430.

12. Vokhmentsev S.A., Larionov A.V., Gulyaeva R.I., Chumarev V.M. Phase composition and thermal properties of ladle smelting slags of AVTU, AKhMK and ATsMO foundry alloys. *Tsvetnye Metally*. 2017. Iss. 11. S. 60–64.

13. Vohmencev S.A., Chumarev V.M., Larionov A.V., Zhidovinova S.V., Taranov D.V. Fazoviy sostav produktov alyuminotermicheskoy vyplavki ligatury Al-V-Ti-C. *Titan*. 2017. Iss. 3(57). S. 20–23.

14. Ryabuhin A.G., Gruba O.N. Entropiya kristallicheskih oksidov hroma. *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo centra UrO RAN*. 2005. Iss. 4(30). S. 36–40.

**Hrigoriev Stanislav**, professor, doctor of technical sciences, Zaporizhzhya National University. ORCID: 0000-0003-3875-8880

**Skachkov Viktor**, professor, doctor of technical sciences, Zaporizhzhya National University. ORCID: 0000-0002-4447-4641

**Berezhnaya Olga**, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporizhzhya National University. ORCID: 0000-0001-6728-5221

**Anishchenko Vira**, postgraduate student, Zaporizhzhya National University. ORCID: 0000-0002-8277-6149

## PHYSIC AND CHEMICAL PROPERTIES OF ALLOYED METALLURGICAL WASTE AS A SECONDARY RESOURCE-SAVING SUBSTANCE

The paper analyzes the current state of researches on the chemical and phase composition of industrial waste based on slags of aluminothermic production of ligatures and scale of high-speed steel grade R6M5. The investigations were conducted with slags of aluminothermic production obtained after smelting of refractory ligatures, and also the

scale of high-speed steel grade R6M5 was used. X-ray phase analysis was carried out on a DRON-6 diffractometer. Phase composition of slags of aluinothermic production and scale of high-speed steel of P6M5 brand is ascertned by the method of X-ray phase analysis. Slag samples of aluminothermic production of ligatures contain oxide $CaAl_4O_7$, compounds $AlV_2O_4$, $Al_{75}Mo_{20}W_5$ and $Mo(Si,Al)_3$. The scale of high-speed steel grade R6M5 is represented by oxides $Fe_3O_4$, $Fe_2O_3$, $FeO$ and $FeWO_4$. Molybdenum-containing compounds are represented by oxide $MoO_2$ and carbide $Mo_2C$. The microstructure of the investigated technogenic materials has a disordered form and consists of particles of different sizes and shapes. The microstructure of the investigated technogenic materials has a disordered form and consists of particles of different sizes and shapes. The content of tungsten and molybdenum in the investigated areas of scale steel R6M5 was in the range of 3.45…10.73 and 2.17…6.65%. An area with chromium and vanadium content of 1.23 and 1.18% was also detected. The oxygen content in the studied areas was in the range of 8.52…23.16%. In the slag samples of MFTA ligature production, the phases $Al_{75}Mo_{20}W_5$, $Mo(Si,Al)_3$ were detected, which may be present in the form of metal inclusions. Studies of slags of aluminothermic production of smelting of AHM-50 and AMVT ligatures show that the base consists of $CaAl_4O_7$. Aluminothermic slag and high-speed steel scale were used as components of the charge for smelting alloying and deoxidizing alloys. The introduction of scale into the charge allows to provide a given the degree of alloying of the alloy with refractory elements. Introduction to the charge of slag aluminothermic production in the range of 4.5…14.5% provided an increase in the alloy of the alloy. There was also some increase in alloy desulfurization.

Keywords: alloyed technogenic waste, scale of R6M5 steel, slag of alumino-thermic production, microstructural and X-ray researches

Стаття надійшла 08.04.2021 р.