

ПРИЧИНИ РУЙНУВАННЯ СТАЛІ Fe–25Mn–10Al–1Si–2Ni–2Cr–1,4C–0,1V В ПРОЦЕСІ ГАРЯЧОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПІСЛЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВУ ЛИТОГО ЕЛЕКТРОДА З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ

М.М. Ворон¹, А.М. Тимошенко¹, А.Ю. Семенко¹,
Ю.П. Скоробагатько¹, О.М. Смірнов¹, С.Л. Шваб²

¹ФТІМС НАН України.

03680, м. Київ, бульв. Академіка Вернадського, 34/1. E-mail: mykhailo.m.voron@gmail.com

²ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України.

3150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: serg.schwab@gmail.com

В роботі описано причини зростаючої актуальності досліджень, пов'язаних зі сталями, що мають низьку густину та містять велику кількість марганцю та алюмінію. Показано важливість і перспективність удосконалення технологічних процесів виплавки таких сталей, які залишаються доволі складними і дорогими. Найбільш економічно вигідним способом виплавки сталей Fe–Mn–Al–C є відкрита індукційна плавка з використанням в якості шихтових матеріалів відходів і чистих компонентів звичайної якості. Такий технологічний процес характеризується наявністю в литому металі великої кількості неметалевих включень, тому його доцільно проводити в комплексі з рафінуючим перепадом, зокрема, електрошлаковим. Для перевірки ефективності запропонованого рішення було проведено виплавку сталі Fe–25Mn–10Al–1Si–2Ni–2Cr–1,4C–0,1V та проведено її електрошлаковий перепад. Дослідження інтегрального та локального хімічного складу і мікроструктури вихідного зразка сталі в литому стані та після перепаду показали, що сталь індукційної виплавки містить карбідно-фосфідну евтектику. В результаті електрошлакового перепаду знизилась загальна кількість неметалевих включень, мікроструктура подрібнилася, стала більш рівномірною при відсутності шкідливих структурних складових у вигляді евтектичних ділянок. Зразок ЕШП піддавали гарячій пластичній деформації, що призвело до його руйнування. Встановлено, що причиною цього була крупна стовпчаста структура та накопичення оксидних плівок на поверхні гілок окремих дендритів. Одержані дані вказують на потребу удосконалення процесів електрошлакового перепаду дослідженого типу сталей в контексті більш ефективного виведення в шлак оксидних включень та подрібнення структури. Бібліогр. 13, табл. 2, рис. 6.

Ключові слова: сталь, електрошлаковий перепад, витратний електрод, шлак, флюс, коефіцієнт заповнення, продуктивність перепаду, злиток, неметалеві включення, хімічний склад, мікроструктура, гаряча пластична деформація

Вступ. Сталі на основі системи Fe–Mn–Al–C з вмістом марганцю, алюмінію та вуглецю вище 18,8 і 0,6 мас. % відповідно, належать до ряду найбільш інноваційних конструкційних матеріалів сучасності завдяки унікальному комплексу механічних характеристик, низькій густині та можливості регулювати структурно-фазовий стан і механічні властивості в широких межах через деформаційну та термічну обробку [1–4].

Для подальшого удосконалення сталей з високим вмістом марганцю та алюмінію важливим є поєднання двох аспектів — оптимізації їхнього хімічного складу та вибору ефективної технології виплавки. До переліку сплавів з одночасно високими показниками міцності та пластичності відносяться композиції Fe–(18...28)Mn–(8...13)

Al–(0,8...1,5)C мас. %. Часто до їхнього складу додаються хром і/або нікель у кількості до 5 мас. %, а також мікролегуєчі і модифікуючі добавки (Mo, V, Nb, Ti та ін.) у кількості 0,1...1,0 мас. % [5, 6]. Щодо способів приготування розплавів сплавів зазначеного типу, то вони потребують використання шихтових матеріалів з мінімальним вмістом шкідливих неметалевих включень, а через високий вміст алюмінію і марганцю потребують захисного середовища для запобігання утворення шкідливих оксидів та нітридів, здатних активно утворюватися при плавленні та литті, якщо вміст алюмінію у сталі перевищує 8 мас. %. Тому для виплавки сталей з високим вмістом марганцю й алюмінію

М.М. Ворон — <https://orcid.org/0000-0002-0804-9496>, А.М. Тимошенко — <https://orcid.org/0000-0003-4038-1744>,

А.Ю. Семенко — <https://orcid.org/0000-0002-0448-1636>, Ю.П. Скоробагатько — <https://orcid.org/0000-0002-1724-9895>,

О.М. Смірнов — <https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>, С.Л. Шваб — <https://orcid.org/0000-0002-4627-9786>



Рис. 1. Зовнішній вигляд витратного електрода (а), одержаного злитка і залишку електрода (б) та лабораторної електрошлакової печі під час проведення переплаву (в)

часто застосовують вакуумну індукційну плавку та аргонодуговий переплав [7, 8].

З точки зору економічної вигоди і технологічної простоти найбільш привабливим способом виплавки розглянутого типу сталей можна вважати відкритої індукційну плавку з використанням в якості шихтових матеріалів сталевого брухту і чистих компонентів звичайної якості. За цих умов вміст сірки та фосфору у сталях Fe–Mn–Al–C буде наближатися до вмісту в інструментальних сталях, але утворення великої кількості крупних оксидних та нітридних включень буде неминучим і слабо контрольованим. За цих умов найбільш раціональним може стати відоме поєднання індукційної виплавки з подальшим електрошлаковим рафінуючим переплавом.

На сьогоднішній день кількість досліджень, присвячених електрошлаковому переплаву сталей з високим вмістом марганцю та алюмінію, залишається обмеженою [9], а більшість відомих робіт присвячені переважно дослідженню однорідності хімічного складу та його змін, вмісту сірки та фосфору, структурно-фазовим характеристикам і дефектам злитків [10]. Виходячи з цього, в представленій роботі було розглянуто не лише відмінності структурно-фазового стану сплаву у вихідному стані та після переплаву, але також проаналізовано початковий і кінцевий вміст домішок та вплив

зменшення їх концентрації на зміну хімічного складу сплаву після ЕШП. Також проведено оцінку здатності сплаву до гарячої пластичної деформації після рафінуючого переплаву і проаналізовано поверхні утворення гарячих тріщин.

В ході проведення досліджень способом відкритої індукційної виплавки було одержано витратний електрод сталі складу Fe–25Mn–10Al–1Si–2Ni–2Cr–1,4C–0,1V. Для його виготовлення в якості шихтових матеріалів використовували відходи сталі 45, алюмінієвого сплаву АК12, ферохром ФХ800А та чисті компоненти звичайної якості: марганець Mn95, нікель Н-1, хром Х97,5, алюміній А5, ванадій ВнМ-1 та графітову крихту. Плавку проводили в індукційній печі потужністю 25 кВт з робочим об’ємом 1 л. Піч було футеровано сумішшю $Al_2O_3:MgO = 80:20$.

Шихтові матеріали розплавляли, починаючи з утворення розплаву сталі 45, додаючи безпосередньо перед цим вуглець. Після цього вводили всі інші компоненти поступово та рівномірно. Для рафінування розплаву застосовували додавання магнію та лантану в складі лігатур Ni–16Mg і Al–45La в загальній кількості до 0,3 % та CaO у кількості до 1 % від маси шихти [11]. При температурі 1500 °С розплав перемішували, продували аргоном 10 с та знімали шлак. Після досягнення

Таблиця 1. Хімічний склад досліджуваних зразків, мас. %

Зразок	Mn	Al	Si	Ni	Cr	C	V	S	P	N	Fe — основа
Електрод	25,1	10,2	1,2	1,8	2,1	1,42	0,09	0,032	0,050	0,027	
Злиток	24,7	10,4	0,9	1,7	2,0	1,40	0,08	0,028	0,037	0,020	

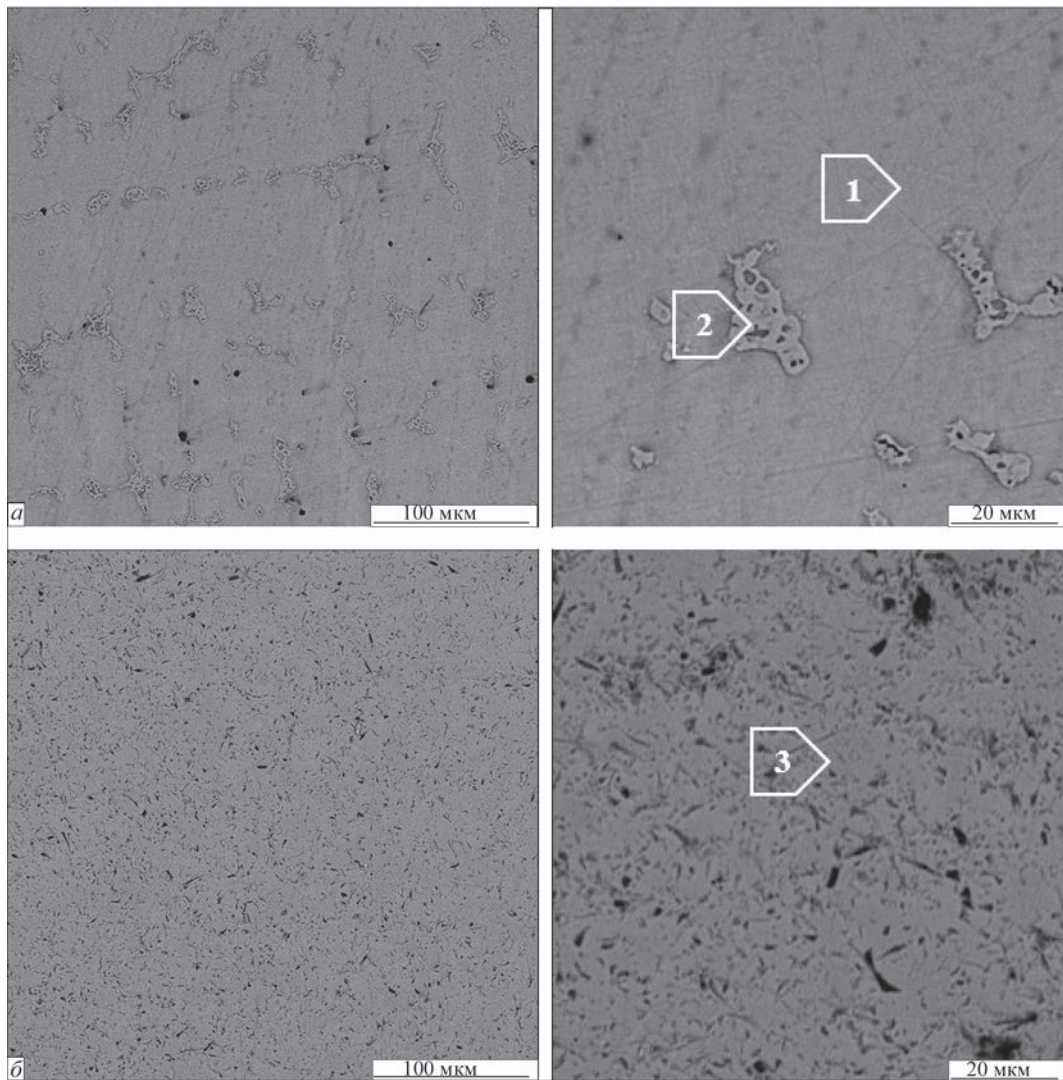


Рис. 2. Порівняння мікроструктур сталі Fe-25Mn-10Al-1Si-2Ni-2Cr-1,4C-0,1V в литому стані (а) та після електрошлакового переплаву (б) з позначеннями для визначення локального хімічного складу структурних складових

розплавом температури 1450 °С його заливали у пісчану форму зі зв'язуючим на рідкому склі. В результаті цього було одержано електрод діаметром 25 мм і висотою 500 мм.

Електрошлаковий переплав сплаву, відлитого в електрод діаметром 25 мм (рис. 1, а) здійснювали в водоохолоджуваному кристалізаторі діаметром 50 мм на лабораторній печі УШ-114 (рис. 1, б), при цьому коефіцієнт заповнення склав 0,27. Джерелом живлення УШ-114 є зварювальний трансформатор змінного струму з круто падаючою характеристикою та загальною потужністю 45 кВА, який має вольт-амперну характеристику 750 А та 60 В. В якості флюсу було використано шлакоутворюючу суміш $\text{CaF}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:90:10$, яку можна розглядати як одну з найбільш оптимальних для рафінування досліджуваного типу сталей від неметалевих включень [12, 13]. Наведення шлакової ванни відбувалося протягом 2 хв, а загальне плавлення електрода проходило протягом 7 хв при 700 А, 36 В. В результаті перепла-

ву було отримано злиток масою 1,6 кг, продуктивність процесу переплаву склала 13,7 кг/год. Злиток в нижній частині на початку процесу плавлення електрода та розплавлення флюсу мав характерні борозди на поверхні, що може свідчити про вміст вологи у вхідному флюсі, оскільки флюс використовувався без попереднього прокалювання. Оскільки метал електрода мав великий вміст високореакційного металу — (8...13 %) Al та (18...28 %) Mn, початок плав-

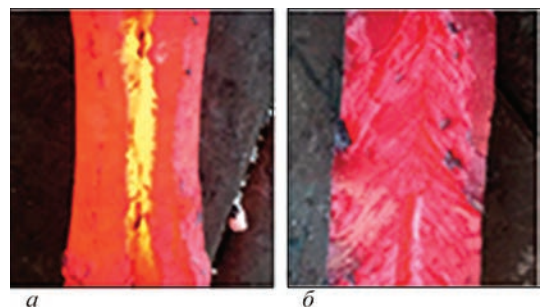


Рис. 3. Зовнішній вигляд злитка після руйнування під час гарячої пластичної деформації (а) та його поверхня руйнування (б)

Таблиця 2. Хімічний склад (мас. %) структурних складових (рис. 3)

Зразок	Mn	Al	Si	Ni	Cr	C	V	S	P	Fe — основа
Електрод	25,1	10,4	0,9	1,5	1,6	5,9	0,05	–	0,05	
	35	1,0	5,1	2,16	6,7	6,6	0,41	0,03	0,35	
Злиток	24,7	9,9	1,1	1,9	1,8	5,2	0,06	–	0,07	

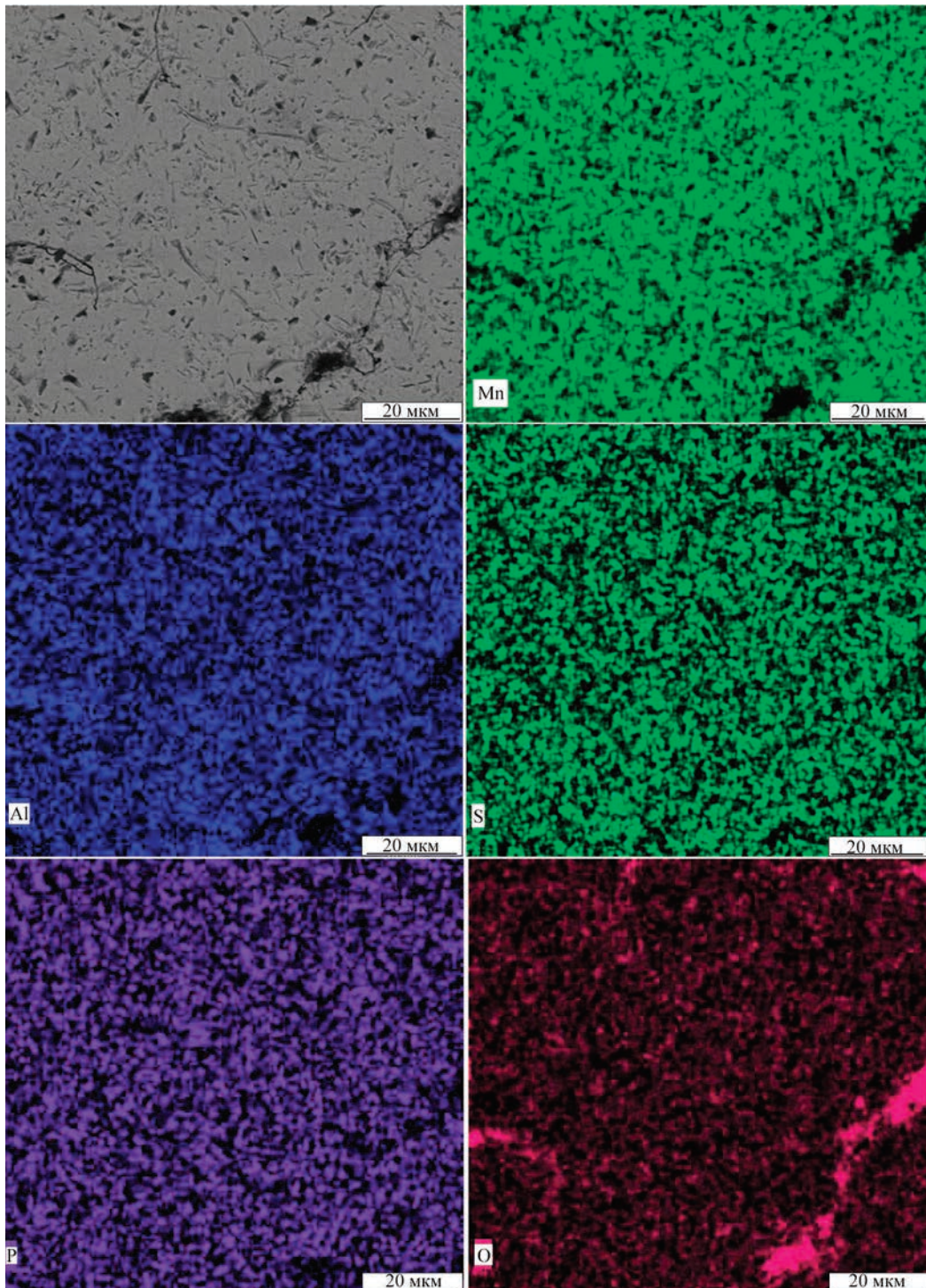


Рис. 4. Розподіл Mn, Al, S, P, O в дефектній частині злитка ЕШП

лення супроводжувався активним розкисленням шлаку та газовиділенням, що спричинило ці дефекти поверхні. Зовнішній вигляд отриманого зливка після описаного процесу переплаву приведено на рис. 1, в.

В ході виконання досліджень аналізували хімічний склад виливка-електрода та зливка після рафінуючого переплаву. Для цього було використано оптично-емісійний дуговий аналізатор SPECTROMAXx десятого покоління, який забезпечує високу точність вимірювання хімічного складу сплавів. Порівняння хімічного складу вихідного сплаву та після рафінуючого переплаву приведено в табл. 1.

З аналізу хімічного складу можна свідчити про помітне, але не вирішальне зменшення кількості сірки, фосфору та азоту. Одночасно з цим, оцінити вміст кисню та оксидів, які разом з нітридними включеннями найбільш сильно впливають на технологічність та механічні властивості сталей з високим вмістом марганцю та алюмінію, залишається задачею, яку було оцінено за допомогою електронної мікроскопії з локальним хімічним аналізом структурно-фазових складових. Для цього було використано електронний мікроском Tescan Vega 3 з EDX-аналізатором Bruker.

Порівняння мікроструктур вихідного сплаву та зливка ЕШП показали їх помітну відмінність (рис. 2). Обидва демонструють однофазну аустенітну структуру. В структурі литого витратного електрода розмір зерен складає 30...60 мкм, а на їх межах спостерігається наявність карбідно-фосфідної евтектики, на що вказують дані локального хімічного аналізу, наведені в табл. 2. Значення вмісту вуглецю в даному випадку мають якісний характер. Зразок після ЕШП характеризувався більш дрібною та рівномірною мікроструктурою з нечіткими межами зерен та відсутністю евтектичних ділянок і неметалевих включень.

Для оцінки якості зливка ЕШП та його придатності до деформаційної обробки було проведено гаряче прокатування рафінованого зразка на прокатному двовалковому стані «Skoda». Злиток піддавали гомогенізаційному відпалу 1050 °С протягом 1 год та подальшій прокатці при цій температурі зі ступенем обтиснення 5 % за прохід. Після двох проходів під час гарячої пластичної деформації злиток зруйнувався, що показано на рис. 3. Двома очевидними причинами руйнування могли бути наявність газоусадкової порожнини в нижній частині зливка та

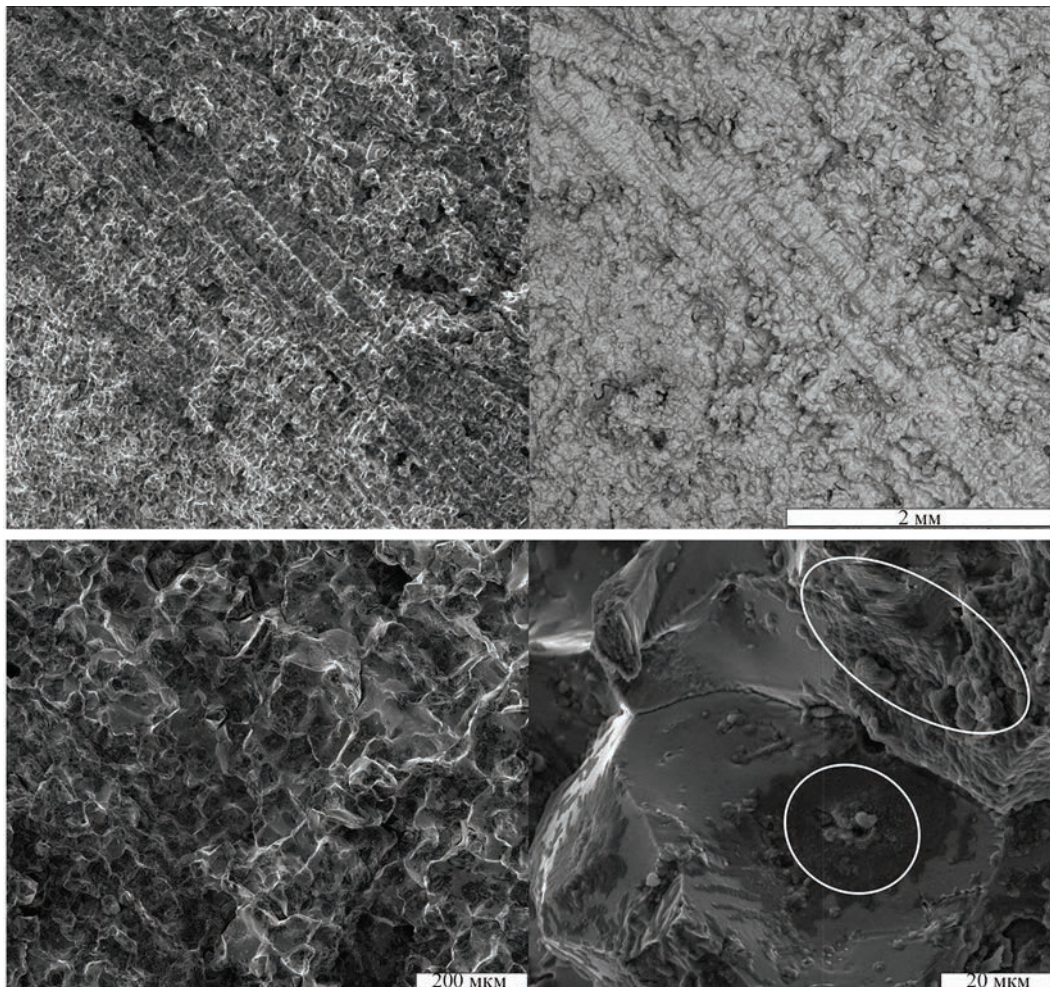


Рис. 5. Мікроструктура поверхні гарячої тріщини зливка сталі Fe-25Mn-10Al-1Si-2Ni-2Cr-1,4C-0,1V після ЕШП

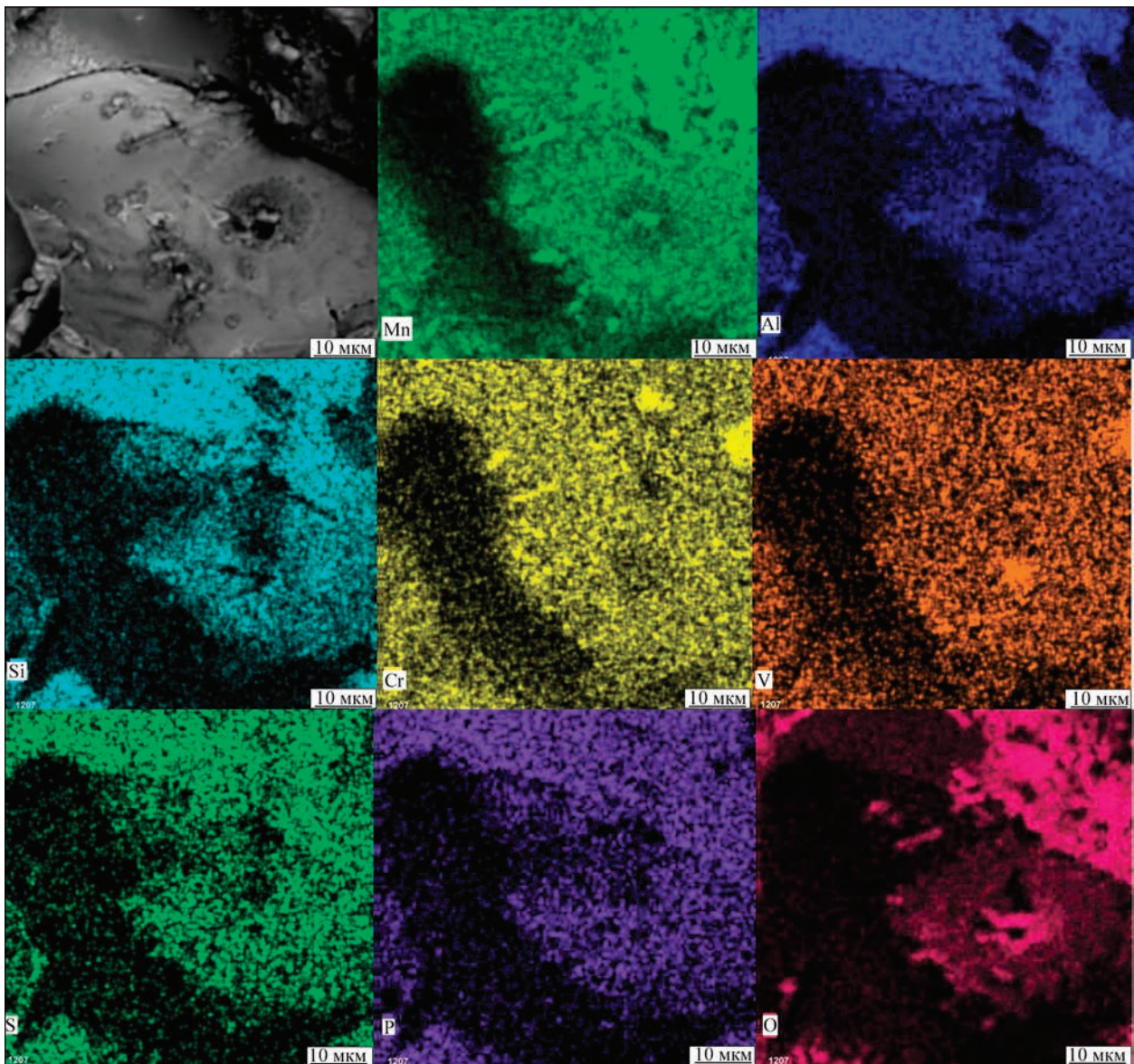


Рис. 6. Розподіл хімічних елементів на поверхні дендритної гілки, розташованої в гарячій тріщині сталі Fe–25Mn–10Al–1Si–2Ni–2Cr–1,4C–0,1V

помітно виражена стовпчата макроструктура. Остання може поєднуватись зі збільшеною кількістю домішок на межах зерен і сприяти руйнуванню.

По-перше, було досліджено характер розподілу домішок у частині злитка, яка мала незначну мікродфектність. Дані розподілу елементів наведено на рис. 4.

З одержаного розподілу хімічних елементів видно, що сірка та фосфор присутні в складі зразку ЕШП суцільним рівномірним фоном та не утворюють окремих включень, а найбільша дефектність спостерігається через часткове збереження тонких оксидних плівок, від яких не вдається повністю рафінувати сплав. Для більш повного розуміння причин утворення гарячих тріщин у сплаві під час його деформації було досліджено безпосередньо поверхню зламу, що показано на рис. 5.

Структура зламу відповідає міжкристалітному крихкому руйнуванню. При цьому на поверхні деяких гілок дендритів можна помітити точкові дефекти і ділянки накопичення оксидних включень, що позначено на рисунку. Утворення таких дефектних зон як при звичайному литті, так і при формуванні злитка під час ЕШП можна пояснити повільною кристалізацією. За таких умов більшість домішок виштовхується фронтом кристалізації до місць поєднання окремих дендритів і накопичуються там, стаючи причинами руйнування сплаву при навантаженні. Очевидно, через високу щільність та низьку пластичність таких включень, вони перешкоджають структурній гомогенізації та рекристалізації.

Походження і якісний хімічний склад включень було оцінено за допомогою аналізу розподілу хімічних складових сплаву за методикою EDX-mapping,

як показано на рис. 6. В результаті досліджень встановлено, що сталь Fe–25Mn–10Al–1Si–2N–2Cr–1,4C–0,1V виплавлена відкритим індукційним способом після подальшого електрошлакового переплаву містить залишки оксидних включень, які можуть представляти собою в першу чергу оксиди марганцю та алюмінію. В зоні існування оксидів на межах зерен (гілок дендритів) спостерігається утворення комплексних карбідів хрому і ванадію (Fe, Cr, V)₂₃C₆ та, імовірно, κ-карбідів (Fe, Mn)₃AlC. Сульфідні та фосфідні включення виявлені не були.

Висновки

1. Одержані результати показують, що виплавка сталей Fe–Mn–Al–C відкритим індукційним способом може бути перспективним рішенням для суттєвого зниження їх вартості та спрощення виробничого процесу. При цьому, в таких умовах литий метал містить підвищену кількість домішок, особливо оксидів, що безпосередньо пов'язано з окисненням компонентів сталі під час плавлення та лиття. Також в його структурі окрім неметалевих включень присутні ділянки шкідливої для механічних властивостей фосфідно-карбідної евтектики.

2. Застосування подальшого рафінуючого електрошлакового переплаву литих заготовок індукційної виплавки суттєво покращує структурно-фазові характеристики досліджуваної сталі, але не є здатним повністю видалити неметалеві включення у вигляді оксидів. Показано їхнє переважне розташування на поверхні дендритів, що відбувається через повільну направлену кристалізацію розплаву, коли повільне зростання стовпчастих зерен сприяє виштовхуванню домішок перед фронтом кристалізації та їх накопиченню в місцях об'єднання дендритів. Така конгломерація оксидів може утворювати структурно несучільні ділянки, по яких в процесі гарячої пластичної деформації відбувається руйнування злитків за крихким механізмом. Шкідливі включення, які є причиною руйнування злитків, представлені переважно оксидами алюмінію і марганцю, та в меншій мірі — дрібними включеннями сульфиду марганцю і карбідами складного хімічного складу.

3. Нівелювання описаних явищ має ґрунтуватися на підвищенні вихідної чистоти витратного електрода, підвищенні рафінуючої здатності процесу ЕШП і контрольованому процесі структуроутворення та зерноподрібнення злитка в процесі переплаву сталей Fe–Mn–Al–C.

Дослідження фінансується Національним фондом досліджень України, конкурс «Наука для зміцнення обороноздатності України» (проект № 2023.04/0021), «Одержання елементів броні з надлегких сталей для військової техніки з використанням вторинної сировини».

Список літератури/References

- Bai, S., Chen, Y., Liu, X. et al. (2023) Research status and development prospect of Fe–Mn–C–Al system low-density steels. *J. of Materials Research and Technology*, **25**, 1537–1559. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.0372>.
- Ding, H., Liu, D., Cai, M., Zhang, Y. (2022) Austenite-based Fe–Mn–Al–C lightweight steels: Research and prospective. *Metals*, **12**(10), 1572. DOI: <https://doi.org/10.3390/met12101572>
- Moon, J., Ha, H.Y., Kim, K.W. et al. (2020) A new class of lightweight, stainless steels with ultra-high strength and large ductility. *Sci Rep.*, **10**, 12140. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69177-7>
- Shin, J.-H., Song, J.-Y., Kim, S.-D. et al. (2022) Microstructure, tensile, and fatigue properties of large-scale austenitic lightweight steel. *Materials*, **15**(24), 8909. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15248909>
- Ren, X., Li, Y., Qi, Y., Wang, C. (2022) Effect of micro-alloyed/alloyed elements on microstructure and properties of Fe–Mn–Al–C lightweight steel. *Metals*, **12**(4), 695. DOI: <https://doi.org/10.3390/met12040695>
- Raabe, D., Springer, H., Gutierrez-Urrutia, I. et al. (2014) Alloy design, combinatorial synthesis, and microstructure-property relations for low-density Fe–Mn–Al–C austenitic steels. *JOM*, **66**, 1845–1856. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11837-014-1032-x>
- Zhang, L., Thomas, B.G. (2006) State of the art in the control of inclusions during steel ingot casting. *Metall. Mater. Transact. B*, **37**, 733–761. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11663-006-0057-0>
- Bai, Y., Tian, K., Li, J., Yang, Z. (2021). Microstructure and oxidation behavior of Fe–25Mn–9Al–8Ni–1C–_xTi alloy prepared by vacuum arc melting. *Materials*, **14**(24), 7722. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14247722>
- Zaitsev, V.A., Kostetskiy, Yu.V., Polishko, G.O. et al. (2023) Investigations of the quality of metal of high-manganese steel alloyed by aluminium and chromium after electroslag remelting. *Suchasna Elektrometalyriya*, **4**, 17–27 [in Russian]. DOI: <https://doi.org/10.37434/sem2023.04.02>
- Medovar, G., Stovpchenko, L., Lisova, Zh. et al. (2023) Features and restrictions of electroslag remelting with silica-bearing slags for lightweight high manganese steel. *Steel Research*, **94**(11), 2300161. DOI: <https://doi.org/10.1002/srin.202300161>
- Ji, Y., Zhang, M.-X., Ren, H. (2018) Roles of lanthanum and cerium in grain refinement of steels during solidification. *Metals*, **8**(11), 884. DOI: <https://doi.org/10.3390/met8110884>
- Dong, Y., Jiang, Z., Yu, A. (2016) Dissolution behavior of alumina-based inclusions in CaF₂–Al₂O₃–CaO–MgO–SiO₂ slag used for the electroslag metallurgy process. *Metals*, **6**(11), 273. DOI: <https://doi.org/10.3390/met611027321>
- Mapelli, C. (2006) Control and engineering of non-metallic inclusions belonging to _xSiO₂–_yCaO–_zAl₂O₃ system in Ca-treated Al-killed and Al–Si-killed steel. *Steel Research Inter.*, **77**(7), 462–471. DOI: <https://doi.org/10.1002/srin.200606416>

CAUSES FOR Fe–25Mn–10Al–1Si–2Ni–2Cr–1.4C–0.1V STEEL FRACTURE
DUE TO HOT PLASTIC DEFORMATION AFTER ELECTROSLAG REMELTING
OF A CAST ELECTRODE WITH AN INCREASED CONTENT OF NON-METALLIC INCLUSIONS

M.M. Voron¹, A.M. Tymoshenko¹, A. Yu. Semenko¹, Yu.P. Skorobagatko¹, O.M. Smirnov¹, S.L. Schwab²

¹Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine.

34/1 Vernadskii Blvd, 03680, Kyiv, Ukraine. E-mail: mykhailo.m.voron@gmail.com

²E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: serg.schwab@gmail.com

The paper describes the reasons for the growing relevance of research related to steels with a low density and high manganese and aluminum content. The importance and prospects of improving the technological processes for smelting such steels are shown, which remain quite complex and expensive. The most economically advantageous method for smelting Fe–Mn–Al–C steels is open induction melting using secondary materials and pure components of ordinary quality as charge materials. Such a technological process is characterized by the presence of a large number of non-metallic inclusions in the as-cast metal, so it is advisable to conduct it in combination with refining remelting, in particular — electroslag process. To verify the effectiveness of the proposed solution, Fe–25Mn–10Al–1Si–2Ni–2Cr–1.4C–0.1V steel was smelted and its electroslag remelting was carried out. Studies of the integral and local chemical composition and microstructure of the initial steel sample in the as-cast state and after remelting showed that induction melted steel contains carbide-phosphide eutectic. After electroslag remelting, the total amount of non-metallic inclusions decreased, and the microstructure was refined, becoming more uniform without any harmful structural eutectic components. The ESR-sample was subjected to hot plastic deformation, which led to its destruction. It was found that the reason for this was the large columnar structure and the accumulation of oxide films on the surface of the of individual dendrites branches. The obtained data indicates the need to improve the processes of electroslag remelting of the studied type of steels in the context of more effective oxide inclusions removal into the slag and structure refining. 13 Ref., 2 Tabl., 6 Fig.

Keywords: steel, electroslag remelting, consumable electrode, slag, flux, filling ratio, remelting efficiency, ingot, non-metallic inclusions, chemical composition, structure, hot plastic deformation

Отримано 07.06.2025

Отримано у переглянутому вигляді 14.07.2025

Прийнято 04.08.25

Конференція «Зварювання та споріднені технології для відновлення України»

м. Київ, 27 листопада 2025 р.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

Тематика конференції:

- дугові процеси зварювання та наплавлення;
- променеві та плазмові технології зварювання, наплавлення і нанесення покриттів;
- гібридні процеси зварювання;
- 3D адитивні технології отримання металевих виробів;
- спеціальна електromеталургія;
- матеріалознавство в зварюванні та споріднених технологіях;
- неруйнівний контроль та технічна діагностика.

Для участі в роботі конференції необхідно надіслати заявку в Оргкомітет (участь безкоштовна). До початку конференції буде видано збірку тез/доповідей тільки в електронному форматі. Об'єм публікацій необмежений. Збірку тез/доповідей буде розміщено на сайті видавництва ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Тривалість доповідей до 20 хвилин (15 хвилин доповідь, 5 хвилин обговорення). Розмір плакату для участі в роботі сесії стендових доповідей: А0 або А1. Сесія стендових доповідей буде проводитись паралельно з пленарними доповідями.

Конференція буде проходити у гібридному форматі (очно та онлайн), за вибором учасників. Офіційні мови конференції українська та англійська.

Контрольні дати.

Подання заявок та тез/доповідей до 04.11.2025

Подання заявок без доповіді до 24.11.2025

Розсилка програми до 20.11.2025

Вартість публікації.

Одна сторінка в збірці тез/доповідей – 150 грн.

Надання індексу DOI для тези/доповіді – 150 грн.

Надання сертифіката учасника – 150 грн.

Рахунок для оплати надається за запитом учасника.

Контакти

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ, 03150, Україна

тел./факс: (38044) 205-23-90, E-mail: journal@paton.kiev.ua

