

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ЗЛИТКІВ ФЕРОТИТАНУ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОЇ ВИПЛАВКИ, НА ЇХНЮ ЗДАТНІСТЬ ДО ПОДРІБНЕННЯ

Бережний С. П., Шило Г. М., Фурманова Н. І., Котов М. М.  
Національний університет «Запорізька політехніка»

*Анотація.* Досліджено структуру та здатність до подрібнення злитків феротитану різного способу виробництва. Встановлено, що частковий розпад первинних зерен  $TiFe_2$  з утворенням  $TiFe$  в структурі зливків феротитану електрошлакової виплавки за концентрації  $Ti$  38–48 % покращує здатність до подрібнення.

*Ключові слова:* феротитан, електрошлакова виплавка, структура, подрібнюваність.

### Вступ

У сучасних умовах виробництва машин та металоконструкцій зварювання залишається основним технологічним процесом. Зварювальні матеріали й технології постійно вдосконалюються, але на практиці застосування зварних деталей машин, що працюють в умовах ударних і знакозмінних навантажень, трапляються випадки руйнування в зоні зварного шва. Вірогідність руйнування зварної конструкції зростає тоді, коли в металі шва є включення, які є концентраторами напружень, та шкідливі домішки. За умови високого рівня чистоти електродного дроту в металі зварного шва спостерігається приріст вмісту неметалевих включень і домішок завдяки їхнього переходу з компонентів обмазування електродів і неповному видаленню продуктів реакції розкислення. Одним зі способів зниження вмісту неметалевих включень у наплавлених металах є використання в покритті електродів більш чистих феросплавів з меншим вмістом домішок, включень, а також вдосконалення технології виготовлення зварювальних електродів з метою зниження ймовірності руйнування зварного шва.

### Аналіз публікацій

Для виготовлення зварних виробів відповідного призначення застосовуються електроди основного (фтористо-кальцієвого) типу, зокрема марки УОНІ 13/55. Вони забезпечують отримання найбільш високих пластичних властивостей металу зварного шва за низького вмісту неметалевих включень і газів [1, 2], що досягається розкисленням металу з використанням  $Mn$ ,  $Si$  і  $Ti$ , які додаються в покриття електродів у вигляді феросплавів [3]. Але в цьому випадку витривалість зварних з'єднань залишається нижче, ніж витривалість основного металу [4]. Головною при-

чиною зниження циклічної міцності [5] є чутливість наплавленого металу до концентрації напружень, створюваних включеннями, зокрема за умови знакозмінних навантажень.

Але у феротитані ФТі35А алюмініотермічного способу, який використовують у виробництві зварювальних електродів, об'ємна частка включень становить 0,3 %. У цьому випадку більша частина включень (до 70 %) є тугоплавкими завдяки оксидам алюмінію [6], які забруднюють метал зварного шва.

Використання феротитану, виготовленого методом електрошлакової виплавки (ЕШВ), зі значно меншим вмістом неметалічних включень та домішок кольорових металів дозволяє підвищити якість наплавленого металу завдяки зменшенню кількості екзогенних включень.

Фероматеріали, що належать до складу покриття зварювальних електродів, подрібнюють в шарових млинах до фракції 0,15 мм, тому феросплави можуть подрібнюватися до заданих розмірів з утворенням мінімальної кількості дрібнодисперсної пилоподібної фракції. Але злитки феротитану, отриманого методом ЕШВ, із аналогічним вмістом  $Ti$  (28,5–30,0 %) мають досить низьку подрібнюваність із утворенням неоднорідної фракції.

Мета роботи – дослідити структури злитків сплавів феротитану із різним вмістом титану та встановити залежність здатності до подрібнювання від структури та складу зливків.

### Дослідження здатності до подрібнювання від структури та складу зливків феротитану

Мікроструктура визначалась за допомогою використання металографічного мікроскопа МІМ 8-М. Подрібнюваність визначалась згідно з нестандартною методикою на

копрі з вертикально спадальним циліндричним бойком [7].

Злитки феротитану були отримані електрошлаковим переплавом комбінованих електродів, складених зі смуг низьковуглецевої сталі Ст3 ГОСТ 380-71 та титану ВТ1-0 ГОСТ 19807-74 у мідному водоохолоджуваному кристалізаторі, перетином  $80 \times 90$  мм. Досліджено структуру злитків зі вмістом титану 15, 20, 25, 30, 40, 45, 50 та 60 %.

Зливки досліджувались у литому стані після охолодження на повітрі.

Для визначення мікроструктури була використана суміш плавикової азотної кислоти та води у пропорції (1:1:3). Мікротвердість фаз визначали на приладі ПМТ-3 за навантаження 50 і 100 г на зразках для мікроструктурного аналізу.

Структура злиwkів феротитану алюмініотермічного виробництва ФТі30А (склад: Ті –  $30 \pm 2$  %, Al – 9–10 %, Si – 2.0–2.5 %, Cu – 0.32 %, С – 0.11 %) є неоднорідною з великою кількістю несучільностей (30 % площини шліфа) (рис. 1, а). Основне поле шліфа займає фаза зі вмістом титану 25–39 % Ті, що згідно з діаграмою Fe–Ті [8] (рис. 2) відповідає інтерметаліду  $TiFe_2$  ( $H = 16000$ – $17700$  МПа), та твердий розчин Al і Si в  $TiFe_2$  (Ті – 30–34 %, Al – 8.0–10 %, Si – 1 %) (рис. 1, б), мікротвердість яких складає  $H = 21200$  –  $22000$  МПа. Злитки з такою структурою є досить крихкими, вони легко піддаються подрібненню.

Структура зливка феротитану, отриманого методом ЕШВ, із аналогічним вмістом Ті 28,5 % має суттєві відмінності. Основні світлі ділянки такого феросплаву містять 28–32% Ті, що відповідає складу інтерметаліду  $FeTi_2$ . Але наявність евтектики ( $\alpha + FeTi_2$ ) із вмістом титану 14–16 % свідчить про відхилення структури цього сплаву від рівноважного згідно з діаграмою Fe–Ті. Гіршу здатність до подрібнення такого сплаву можна пояснити наявністю менш крихкої евтектики ( $\alpha + FeTi_2$ ).

Структура сплаву з вмістом 40 % Ті складається з двох інтерметалідів  $TiFe_2$  і  $TiFe$ , зерна яких чітко видно на рис. 3, б, що узгоджується з діаграмою Fe–Ті.

Але встановлено, що за умови вмісту Ті 45 % спостерігаються частковий розпад первинних зерен  $TiFe_2$  з утворенням  $TiFe$  (рис. 3, в, г) у процесі переходу сплаву до більш рівноважного стану під час охолодження.

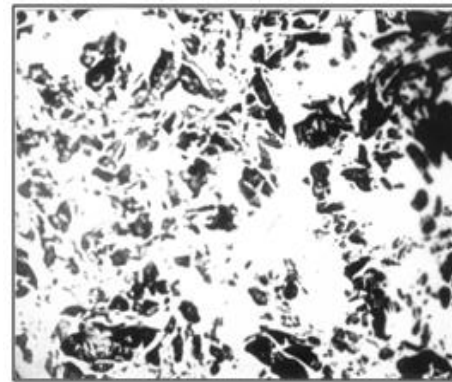
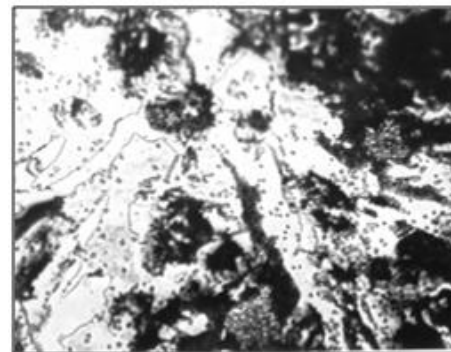
а)  $100^{\times}$ б)  $300^{\times}$ 

Рис. 1. Мікроструктура сплаву ФТі30А: а) до травлення; б) після травлення

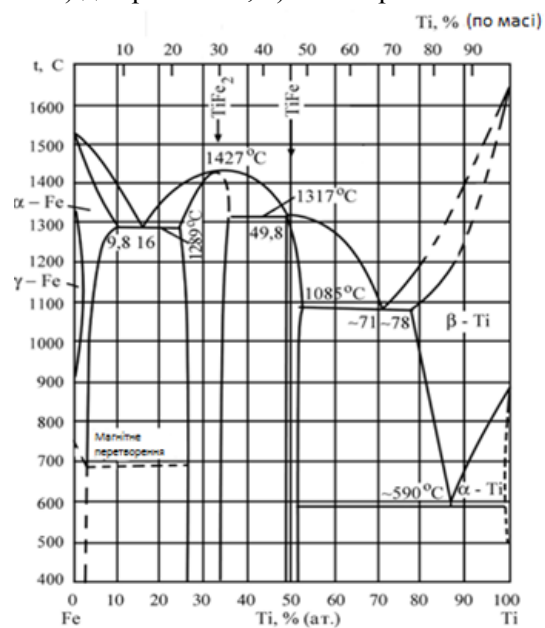


Рис. 2. Діаграма стану системи Fe–Ті

Кількість таких ділянок розпаду зростає зі збільшенням концентрації Ті. Наявність фази розпаду  $TiFe$  всередині зерна  $TiFe_2$  через відмінність у структурі створює додаткові внутрішні напруження та сприяє більш легкому руйнуванню сплаву (рис. 4).

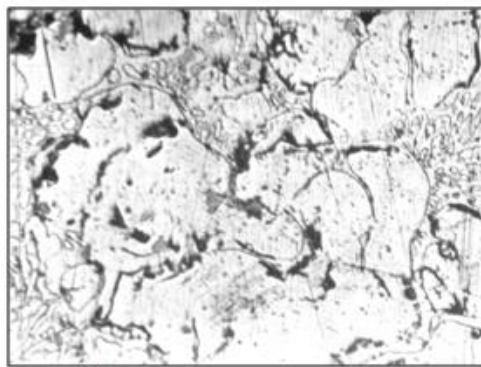
а) 300<sup>X</sup>б) 300<sup>X</sup>в) 300<sup>X</sup>г) 900<sup>X</sup>

Рис. 3. Мікроструктура сплавів феротитану, отриманого методом ЕШВ: а – 28,5 % Ті, б – 40 % Ті, в, г – 45 % Ті

Мікроструктура сплаву, що містить більше 50 % Ті, складається з евтектики  $\beta$ -ТіFe навколо первинних зерен ТіFe, що зменшує здатність до подрібнення, рис. 4.

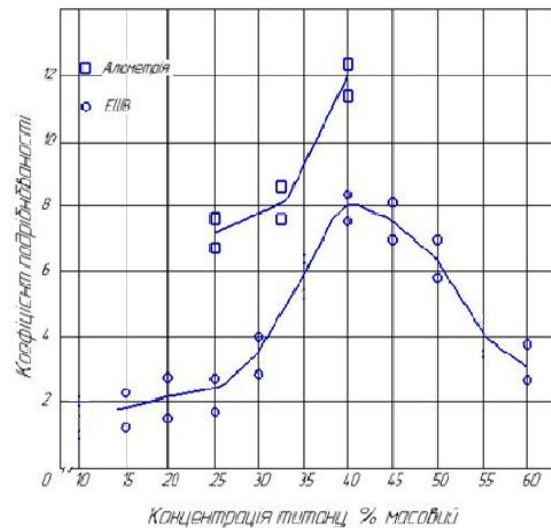


Рис. 4. Залежність коефіцієнта подрібнюваності феротитану від вмісту титану

За результатами перевірки здатності до подрібнення було визначено, що найбільш оптимальним є вміст титану 38–48 % (рис. 4). У цьому випадку коефіцієнти подрібнення феротитану ЕШВ та алюмінотермічного виробництва практично однакові, що полегшує їх використання в процесі виготовлення зварювальних електродів.

### Висновки

Під час проведення досліджень було отримано такі результати:

1. Структура зливків феротитану електрошлакової виплавки відрізняється від рівноважної.
2. Наявність у структурі сплавів феротитану ЕШВ евтектики  $\alpha$ +FeTi<sub>2</sub> та  $\beta$ +TiFe ускладнює процес подрібнення.
3. Частковий розпад первинних зерен TiFe<sub>2</sub> з утворенням TiFe в структурі зливків феротитану ЕШВ за концентрації Ті 38–48 % покращує здатність до подрібнення.
4. Для виробництва зварювальних електродів необхідно використовувати феротитан ЕШВ із концентрацією Ті 38–48 %, здатність до подрібнюваності якого найвища.

### Література

1. Заке И. А. Сварка разнородных сталей: справочное пособие. Ленинград: Машиностроение, 1973. 208 с.
2. Теория сварочных процессов / за ред. В. В. Фролова Москва: Высшая школа, 1988. 557 с.
3. Ерохин А. А. Основы сварки плавением. Москва: Машиностроение, 1973. 447 с.
4. Труфяков В. И., Михеев П. П. Способы повышения выносливости сварных соединений. Автоматическая сварка. 1964. № 11. С. 28–36.

5. Усталость и хрупкость металлических материалов / Иванов В. С., Гуревич С. Е., Копьев И. М., Кудряшов В. Г. Москва: Наука, 1968. 216 с.
6. Газы и примеси в ферросплавах / Гасик М. И., Игнатъев В. С., Каблуковский А. Ф., Хитрик С. И. Москва: Металлургия, 1970. 152 с.
7. Горелкин С. Ю., Чуватин Н. В. Дробимость и истираемость ферросплавов. Сталь. 1982. № 5. С. 40–41.
8. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: справочник / под ред. О. А. Банных. Москва: Металлургия, 1986. 436 с.

### References

1. Zake I. A. Svarka raznorodnykh staley: spravochnoe posobie. Leningrad: Mashinostroenie, 1973. 208 s. [in Russian]
2. Teoriya svarochnykh protsessov/ za redaktsiey V. V. Frolova Moskva: Vysshaya shkola, 1988. 557 s. [in Russian]
3. Erohin A. A. Osnovy svarki plavlениem. Moskva: Mashinostroenie, 1973. 447 s. [in Russian].
4. Trufyakov V. I., Miheev P. P. Sposoby povysheniya vyinoslivosti svarnykh soedineniy. Avtomaticheskaya svarka. 1964. 11. S. 28–36. [in Russian]
5. Ustalost i hrupkost metallicheskih materialov / Ivanov V. S., Gurevich S. E., Kopev I. M., Kudryashov V. G. Moskva: Nauka, 1968. 216 s. [in Russian].
6. Gazy i primesi v ferrosplavakh / Gasik M. I., Ignatev V. S., Kablukovskiy A. F., Hitrik S. I. Moskva: Metallurgiya, 1970. 152 s. [in Russian].
7. Gorelkin S. Yu., Chuvatin N. V. Drobimost i istiraemost ferrosplavov. Stal. 1982. № 5. S. 40–41. [in Russian].
8. Diagrammy sostoyaniya dvoynnykh i mnogo-komponentnykh sistem na osnove zheleza: spravochnik / pod red. O. A. Bannykh. Moskva: Metallurgiya, 1986. 436 s. [in Russian]

**Бережний Станіслав Петрович**, к.т.н., доцент, кафедра нарисної геометрії та комп'ютерної графіки, тел. (+38) 097-514-03-95, e-mail: [bereg.333@ukr.net](mailto:bereg.333@ukr.net).

**Шило Галина Миколаївна**, д.т.н., доцент, кафедра інформаційних технологій електронних засобів, тел. (+38) 050-385-54-00, e-mail: [shilo.gn@gmail.com](mailto:shilo.gn@gmail.com).

**Фурманова Наталія Іванівна**, к.т.н., доцент, кафедра інформаційних технологій електронних засобів, тел. (+38) 068-446-89-50, e-mail: [nfurmanova@gmail.com](mailto:nfurmanova@gmail.com).

**Котов Микола Миколайович**, студент, кафедра обладнання та технології зварювального виробництва, тел. (+38) 068-135-37-04, e-mail: [kotovnikolay48@gmail.com](mailto:kotovnikolay48@gmail.com), Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, 69063, Україна

### Исследование влияния структуры слитков ферротитана, полученного методом электрошлаковой выплавки, на их способность к измельчению

**Аннотация.** Исследована структура и способность к измельчению слитков ферротитана разного способа производства. Установлено, что частичный распад первичных зерен  $TiFe_2$  с образованием  $TiFe$  в структуре слитков ферротитана электрошлаковой выплавки при концентрации  $Te$  38–48 % улучшает способность к измельчению.

**Ключевые слова:** ферротитан, электрошлаковая выплавка, структура, измельчаемость.

**Бережний Станіслав Петрович**, к.т.н., доцент, кафедра начертательной геометрии и компьютерной графики, тел. (+38) 097-514-03-95, e-mail: [bereg.333@ukr.net](mailto:bereg.333@ukr.net).

**Шило Галина Николаевна**, д.т.н., доцент, кафедра информационных технологий электронных средств, тел. (+38) 050-385-54-00, e-mail: [shilo.gn@gmail.com](mailto:shilo.gn@gmail.com).

**Фурманова Наталья Ивановна**, к.т.н., доцент, кафедра информационных технологий электронных средств, тел. (+38) 068-446-89-50, e-mail: [nfurmanova@gmail.com](mailto:nfurmanova@gmail.com).

**Котов Николай Николаевич**, студент, кафедра оборудования и технологии сварочного производства, тел. (+38) 068-135-37-04, e-mail: [kotovnikolay48@gmail.com](mailto:kotovnikolay48@gmail.com), Национальный университет «Запорожская политехника», ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063

### Investigating the impact of structure of ferrotitanium bars obtained by the electroslag remelting method on their crushing capacity

**Abstract.** The structure and grinding ability of ferrotitanium ingots of different production methods have been researched. It has been found that the partial decay of primary  $TiFe_2$  grains with the formation of  $TiFe$  in the structure of ingots of ferrotitanium ESR at a concentration of  $Ti$  38–4 % improves the ability to crushing. **Problem.** Electrodes of the basic (fluoride-calcium) type, in particular, the UONI 13/55 brand are used for production of welded products of responsible function. They provide the highest plastic properties of the weld metal at a low content of non-metallic inclusions and gases, which is achieved by deoxidation of metal  $Mn$ ,  $Si$  and  $Ti$ , introduced into the coating of the electrodes in the form of ferroalloys. However, in the ferrotitanium  $FeTi35A$  of the aluminothermic production method used in the production of welding electrodes, the volumetric part of inclusions reaches 0.3%. In this case, most (up to 70%) are refractory due to aluminum oxides, which contaminate the weld metal. The use of ferrotitanium produced by the electroslag remelting method, with a much lower content of non-metallic inclusions and impurities of non-ferrous metals, allows to improve the quality of the weld metal by reducing the number

of exogenous inclusions. However, ingots of ferrotitanium obtained by the method of ESR with a similar content of Ti = 28,5 %–30,0 %, had a fairly low crushing point with the formation of a heterogeneous fraction. **Goal.** The purpose is to research the structure of ingots of ferrotitanium alloys with different titanium content, and to establish the dependence of the ability to crush on the structure and composition of ingots. **Methodology.** Ingots of ferrotitanium were obtained by electroslag remelting of combined electrodes composed of strips of low-carbon steel St3 and titanium W1-0 in copper water-cooled crystallizer with a cross section of 80–90 mm. The structure and ability of crushing for ingots with titanium content of 15, 20, 25, 30, 40, 45, 50 and 60 % have been tested. The ingots have been examined in the cast state after cooling in the air. A mixture of hydrofluoric, nitric acid and water in the ratio (1: 1: 3) has been used to researching the microstructure that has been determined using a MIM 8-M metallographic microscope. Crushing ability has been determined by a non-standard method on copra with a vertically falling cylindrical striker. It was found that the ability to crushing was the highest for the production of welding electrodes, ferrotitanium electroslag remelting with a concentration of Ti 38–48 % should be used. **Originality.** It was discovered that provided a Ti content of 45 % partial decay of primary  $TiFe_2$

grains with  $TiFe$  formation is observed. Upon cooling, the alloy becomes more balanced. The presence of the  $TiFe$  decay phase in the middle of the  $TiFe_2$  grain due to the difference in structure creates additional internal stresses and facilitates the destruction of the alloy. **Practical value.** The grinding coefficient of ferrotitanium ESR with a titanium content of 38–48 % and aluminum-thermal production are almost the same, which facilitates their use in the manufacture of welding electrodes.

**Stanislav Berezhnyy**, Ph.D, docent, department “Descriptive geometry and computer graphics”,  
tel. (+38) 097-514-03-95,  
e-mail: [bereg.333@ukr.net](mailto:bereg.333@ukr.net),

**Galina Shilo**, Sc.D., docent, department “Information technology of electronic devices”,  
tel. (+38) 050-385-54-00,  
e-mail: [shilo.gn@gmail.com](mailto:shilo.gn@gmail.com),

**Nataliia Furmanova**, Ph.D, docent, “Information technology of electronic devices”,  
tel. (+38) 068-446-89-50,  
e-mail: [nfurmanova@gmail.com](mailto:nfurmanova@gmail.com),

**Mykola Kotov**, student, tel. (+38) 068-135-37-04,  
e-mail: [kotovnikolay48@gmail.com](mailto:kotovnikolay48@gmail.com),  
Zaporizhzhia Polytechnic National University,  
Zhukovskogo Str., 64, Zaporizhzhia, 69063, Ukraine.