

ОТРИМАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ЛІГАТУР НА ОСНОВІ МАРГАНЦЮ МЕТОДОМ РОЗПИЛЕННЯ РОЗПЛАВУ ВОДОЮ

Терновий Ю. Ф., д.т.н., професор, завідувач кафедри металургії Запорізького національного університету;

Воденнікова О. С., к.т.н., доцент кафедри металургії Запорізького національного університету, ORCID ID: 0000-0003-0496-5435;

Білан В. І., мол.н.сп. ДП «УкрНДІспецсталь»

Запропоновано технологію отримання комплексних лігатур складного хімічного складу шляхом водного розпилення сплавів та отримання суміші замість механічного дроблення простих феросплавів. Одержані комплексні лігатури системи Mn-Si-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni та Mn-Si-Ni-Cr-Mo при тиску розпилення води до 5,5 МПа мають високу плинність і дрібнодисперсність фазового складу та забезпечують гартування в межах 10^5 – 10^7 К/с. Використання порошкових комплексних лігатур на основі марганцю при виготовленні порошкового дроту дозволяє досягнути високих технологічних і механічних характеристик зварних з'єднань, особливо при їх експлуатації в умовах низьких температур, та покращити екологічний стан, знизити пожежо- та вибухонебезпечність за рахунок пасивування порошку при розпиленні розплаву водою високого тиску.

Ключові слова: металевий порошок, розпилений порошок, комплексна лігатура, частинка, водяне розпилення, лігатура на основі марганцю, розплавлений метал, зварювальні з'єднання.

DOI: 10.33815/2313-4763.2019.1.20.162-167

Вступ. Аналіз сучасних методів отримання порошкових лігатур [1–6] показав, що найбільш перспективними за продуктивністю й ефективністю використання в промисловості є процеси розпилення розплавлених металів стисненими газами, водою високого тиску і відцентровим методом. Методи розпилення рідких металів дозволяють регулювати технологічні, механічні й інші властивості, в залежності від їх подальшого застосування.

У роботах [7, 8] запропоновано отримання порошків комплексних лігатур розпиленням струменя розплаву водою високого тиску. Зокрема, отримання порошку середньовуглецевого феромарганцю [9] методом розпилення струменя розплаву дозволяє зменшити вихід пиловидної фракції при одночасному пасивуванні порошку.

Мета роботи – розробка способу отримання порошків комплексних лігатур на основі марганцю методом розпилення розплаву водою.

Методика дослідження. Гранулометричний склад порошків комплексних лігатур системи Mn-Si-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni та Mn-Si-Ni-Cr-Mo визначався ситовим методом згідно з ГОСТом 18318-94, насипну щільність порошків визначали згідно ГОСТ 19440-94, плинність згідно ГОСТ 20899-98.

Форму розпилених частинок комплексних лігатур вивчали за допомогою оптичного стереомікроскопу «TEKNIVAL» та скануючого електронного мікроскопу «Stereoscan S-4». Мікроструктуру частинок вивчали на мікроскопі «Neophot-2». Масову долю в литих пробах та розпиленому порошку визначали хімічними методами аналізу.

Механічні властивості комплексних лігатур визначали за загальноприйнятою методикою: випробування на розтягування – згідно ГОСТ 1497-84, випробування на ударний вигін – згідно з ГОСТом 9454-78. Механічні властивості зварних з'єднань визначали згідно з ГОСТом Р 57180-2016.

Основні результати дослідження. В умовах ДП «УкрНДІспецсталь» широко використовується метод розпилення струму розплаву водою високого тиску з наступним зневодненням та сушінням [10]. Кожна частинка комплексної лігатури у своєму обсязі вміщує легуючі елементи, розкислювачі та модифікатори. Виготовляють порошки наступних систем: Mn-Si-Mo-Al-Fe, Mn-Si-Mo-Fe, Mn-Mo-Ni-Ti-Fe, Mn-Ni-Si-Cr-Mo-Fe, Cr-Si-Ti-Mn-Mo-Fe, Mn-Mo-Ni-Ti-Al-Fe, Mn-Mo-Ni-Fe, Mn-Si-Mo-Ni-Ti-Fe, Mn-Si-Cr-Ti-V-Fe та Cr-Mn-Ni-Si-Fe. Використання порошків, розпилених водою, для зварної техніки усуває

спучування електродної маси, не утруднює опресовування та термообробку електродів та екструзію дроту, покращує екологічний стан, знижує пожежо- та вибухонебезпечність за рахунок пасивування порошку при розпиленні.

Дослідження технологічних режимів отримання порошоків на основі марганцю системи (табл. 1) проводили на дослідній лінії ДП «УкрНДІспецсталь» з виробництва водорозпиленних порошоків (рис. 1) [10]. Процес включав відкриту індукційну плавку (в індукційній печі МГП-52 з ємністю тигля 30 кг), розпилення струменя розплаву водою на УВР-1 при тиску не більше 5,5 МПа, зневоднення, сушіння, видалення робочої фракції. У якості шихтових матеріалів при виплавці комплексних лігатур використовували: марганець металевий марки Мр-2, феромарганець марки ФМн1,5, феромолібден марки ФМо60, нікель марки Н2, кремній кристалічний марки Кр-1 і феротитан марки ФТи65. Для наведення шлаку використовували вапно. Розкислення ванни печі перед присадкою кремнію та феротитану, а також перед випуском розплаву проводили порошком алюмінію та силікокальцію.

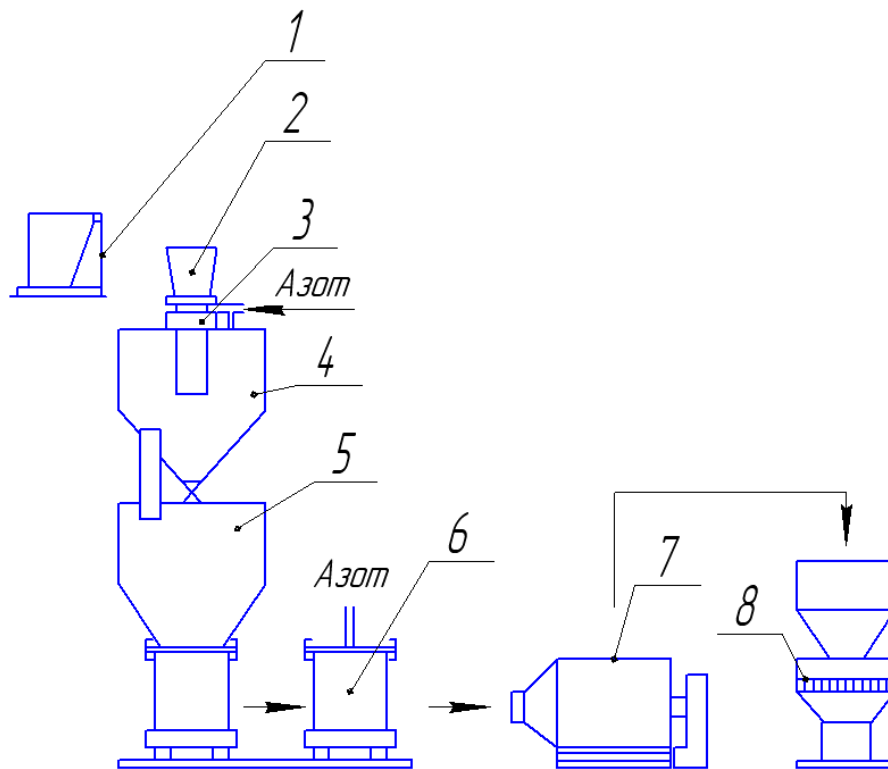


Рисунок 1 – Схема дослідної лінії з виробництва водорозпиленних порошоків:
1 – індукційна піч; 2 – металопримач; 3 – вузол, що розпилює; 4 – камера розпилення; 5 – камера відстоювач; 6 – порошкопримач; 7 – вакуумний сушильний барабан; 8 – сито

Хімічний склад комплексних лігатур на основі марганцю та вміст у них газів приведено в табл. 1. и табл. 2.

Таблиця 1 – Хімічний склад комплексних лігатур на основі марганцю

Склад лігатури	Масова доля елементів, %					
	Mn	Si	Mo	Ni	Ti	Fe
Mn-Si-Mo-Ni	53,2	11,63	9,63	17,4	-	інше
Mn-Mo-Ni	62,4	-	8,35	9,9	-	інше
Mn-Mo-Ni-Ti	55,4	-	7,87	9,9	3,54	інше
Mn-Si-Mo-Ni-Ti	48,7	9,22	7,24	11,5	7,00	інше
Mn-Si-Mo-Ni	53,3	12,85	8,00	18,2	-	інше

Відпрацювання технології розпилення проводили на форсунці кільцевого типу при тиску води у процесі не більше 5,5 МПа. Розпилення проводили шляхом подання розплаву заданого хімічного складу з печі через металопримач та його донний зливний патрубок з

калібрувальним отвором у зону дії водяної форсунки. Час розпилення складав 5–7 хв. Для оптимізації гранулометричного складу та форми частинок змінювали тиск води, витрату води та розплаву, геометричні параметрами форсунки.

В дослідних плавках отримано наступне засвоєння елементів з шихти: кремнію – 92–95 %, молібдену – 98–99 %, нікелю – 100 %, титану – 90–93 %, марганцю – 95–97 %.

Таблиця 2 – Вміст газів у комплексних лігатурах на основі марганцю

Склад лігатури	Масова доля кисню (%) у порошку фракції, мм			Масова доля водню (%) у порошку фракції -160 + 100 мм
	-315+200	-160 + 100	- 50	
Mn-Si-Mo-Ni	1,95	2,00	2,40	0,0032
Mn-Mo-Ni	1,50	1,75	2,44	0,0024
Mn-Mo-Ni-Ti	1,77	1,86	2,03	0,0074
Mn-Si-Mo-Ni-Ti	1,35	0,63	0,42	0,0042
Mn-Si-Mo-Ni	0,265	0,445	0,630	0,0044

З даних табл. 2 видно, що зі зменшенням розміру фракції порошку на основі марганцю закономірності підвищення в них вмісту кисню не спостерігаються.

Мікроструктурний аналіз зразків лігатури Mn-Mo-Ni показав, що наряду з частинками дендритно-коміркової структури спостерігаються точкові та пластинчасті утворення (рис. 2, а). У порошку, що вміщує титан (лігатури системи Mn-Mo-Ni-Ti та Mn-Si-Mo-Ni-Ti), мікроструктура в основному коміркова, при цьому зустрічаються окремі дрібні дендрити (рис. 2, б, в). У порошку, що вміщує кремній (лігатура Mn-Si-Mo-Ni) при відсутності титану спостерігається коміркова мікроструктура зі слабо виявленими границями комірок (рис. 2, г).

При дослідженні проби порошку знайдені шлакові частинки, при цьому найбільша їхня кількість спостерігається у порошках системи Mn-Mo-Ni та Mn-Si-Mo-Ni.

Гранулометричний склад розпиленого порошку комплексної лігатури Mn-Si-Ni-Cr-Mo приведено в табл. 3. Мікроструктурний аналіз зразків лігатури Mn-Si-Ni-Cr-Mo показав на розгалужену та округлу форми частинок.

Використання порошкової комплексної лігатури системи Mn-Si-Ni-Cr-Mo при виготовленні самозахисного порошкового дроту карбонатно-флюоритного типу ПП-АН30с для зварювання трубних марок сталей типу Х70 дозволяє досягнути високого рівня механічних властивостей зварювального з'єднання, особливо при знижених температурах (табл. 4).

Таблиця 3 – Гранулометричний склад розпиленого порошку комплексної лігатури Mn-Si-Ni-Cr-Mo

Розмір частинок, мм	-0,63 + 0,4	- 0,4 + 0,063	- 0,063
Вихід фракції, %	5	70-80	15-25

Таблиця 4 – Механічні властивості зварювального з'єднання з використанням дроту з комплексною лігатурою Mn-Si-Ni-Cr-Mo

σ _т , МПа	σ _в , МПа	δ, %	Ψ, %	KCV, Дж/см ² при t _{вип.} , С ⁰			
				+20	-20	-40	-60
490-520	643-674	26-27	64	130 – 135	92 – 97	75 – 92	54 – 67
				132	94	86	62

Випробування зварювально-технологічних властивостей комплексних лігатур системи Mn-Si-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni та Mn-Si-Ni-Cr-Mo показали на зниження газовиділення при виготовленні обмазувальної маси в 10–30 разів, що виключає її спучування при виготовленні електродів, підвищення ударної в'язкості зварного шву в 1,3-2 рази при негативній температурі за рахунок введення розпиленого феромарганцю, можливість використання добавки в електродний дріт однієї комплексної лігатури замість трьох простих компонентів лігатури, що раніше

використовувалися.

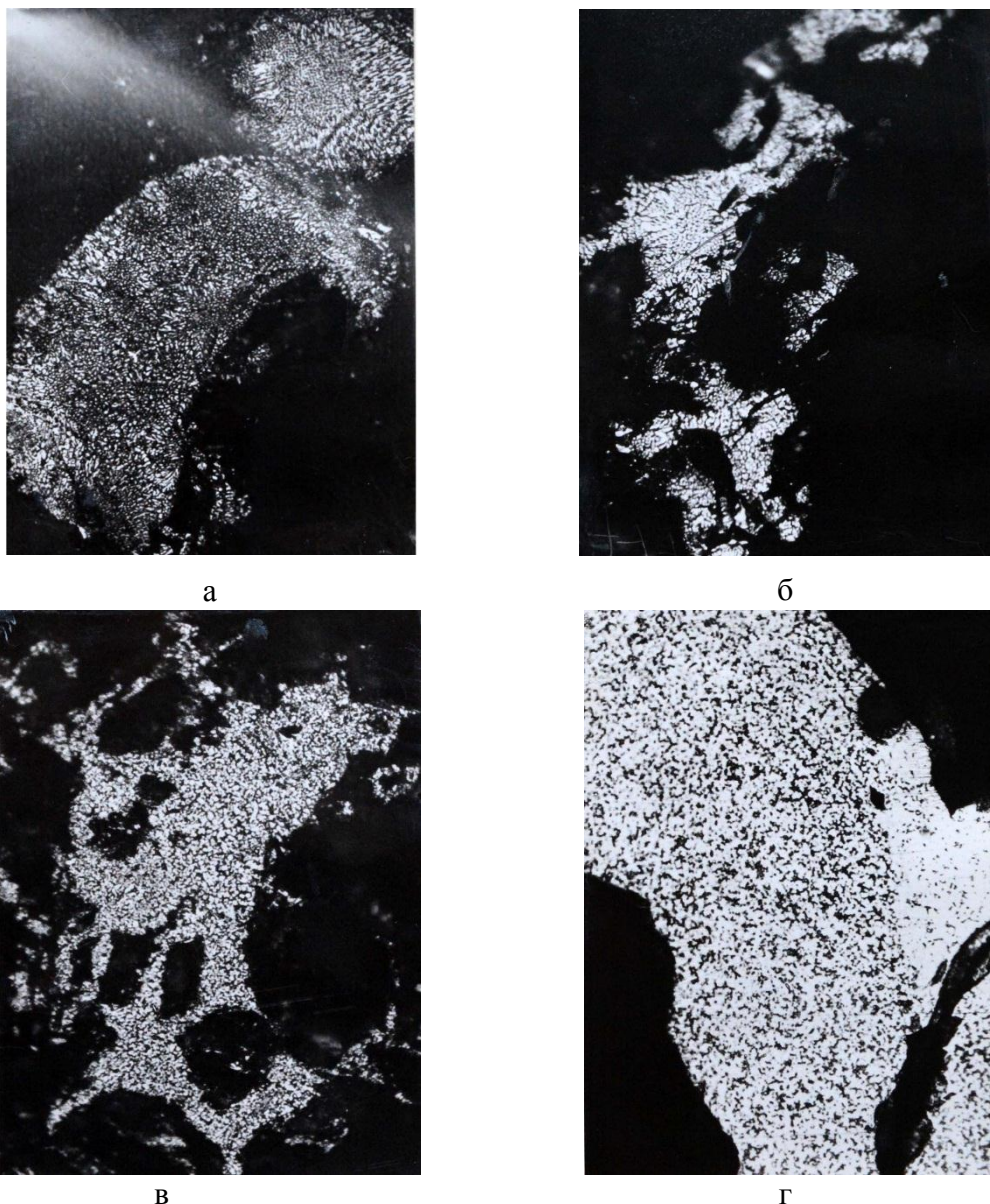


Рисунок 2 – Мікроструктура порошкових частинок, х 500: а – лігатура Mn-Mo-Ni; б – лігатура Mn-Mo-Ni-Ti; в – лігатура Mn-Si-Mo-Ni-Ti; г – лігатура Mn-Si-Mo-Ni

Висновки. У результаті експериментальних досліджень було встановлено:

1. Використання комплексних лігатур системи Mn-Si-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni та Mn-Si-Ni-Cr-Mo у якості добавки в електродний дріт доцільніше, ніж використання окремих складових компонентів комплексних лігатур.
2. Використання розпилених порошоків сплавів замість механічного дроблення окремих за хімічним складом простих феросплавів та їх суміші призводять до однорідної структури та підвищення технологічних параметрів і якості електродів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ничипоренко О. С. Распыленные металлические порошки / Ничипоренко О. С., Найда М. Ю., Медведовский А. Б. – К.: Наукова думка, 1980. – 239 с.
2. Ничипоренко О. С. Формирование частиц порошка при распылении расплава водой / О. С. Ничипоренко // Порошковая металлургия, 1976. – №9. – С. 5–10.
3. Металлические порошки и порошковые материалы / [Бабиш Б. Н., Вершинина Е. В., Глебов В. А. и др.]; под ред. Ю. В. Левинского. - М: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.
4. Либенсон Г. А. Процессы порошковой металлургии. В 2-х т. Том 1. Производство

металлических порошков: учебн. для вузов/ Либенсон Г. А., Лопатин В. Ю., Комарницкий Г. В. – М.: МИСИС, 2001. – 368 с.

5. Фишман Б. Д. Новые методы получения металлических порошков / Б. Д. Фишман, С. Г. Короткое. – Киев: ИПМ АН СССР, 1981. – С. 144–146.

6. Промышленное получение порошков ферросилиция методом распыления расплава / П. Ф. Снежко, Н. М. Дезанов, А. Ф. Матюшено А.Ф. [и др.] // Порошковая металлургия. – 1971. – №4. – С. 81–85.

7. Терновой Ю. Ф. Инженерные расчёты технологических процессов распыления расплавленных металлов: монография / Терновой Ю. Ф., Кудиевский С. С., Пашетнева Н. Н. – Запорожье: Запор. гос. инж. ак., 2005. –150 с.

8. Получение порошков комплексных лигатур распылением расплава водой высокого давления / Ю. Ф. Терновой, В. И. Билан, Т. Б. Погожин [и др.] // Новые материалы и технологии в порошковой металлургии. 5-я Национальная научно-техническая конференция: резюме докладов. – София (НРБ), 1990. – С. 31–32.

9. Способ получения пассивированного порошка среднеуглеродистого ферромарганца: а.с. №1603649, СССР, А1 В22 F9/08. Терновой Ю.Ф., Билан В.И., Александров А.П. Заявитель «УкрНИИспецсталь». Заявл. 27.10.88.

10. Терновой Ю. Ф. Технологии и оборудование «УкрНИИспецстали» для производства распыленных металлических порошков / Ю. Ф. Терновой, Н. Н. Пашетнева, А. А. Кононенко [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – №6. – С. 84–88.

REFERENCES

1. Nichiporenko, O. S., Najda, Ju. I., & Medvedovskij, A. B. (1980) *Raspylennye metallicheskie poroshki*. Kiev : Naukova dumka.

2. Nichiporenko, O. S. (1976) Formoobrazovanie chastits poroshka pri raspylenii rasplava vodoj. *Poroshkovaja metallurgija*, 9, 5–10.

3. Babich, B. N., Verzhinina, Ye. V., Glebov, V. A. et al. (2005) *Metallicheskie poroshki i poroshkovye materialy*. Moscow: ECOMET.

4. Libenson, G. A., Lopatin, V. Yu., & Komarnitskij, G. V. (2001) *Processy poroshkovej metallurgii. Vol.1. Proizvodstvo metallicheskih poroshkov*. Moscow : MISIS.

5. Fishman, B. D., & Korotkov, S. G. (1981) *Novye metody poluchenija metallicheskih poroshkov*. Kiev : IPM AN SSSR, 144–146.

6. Snezhko, P. F., Dezanov, N. M., & Matjushenko, A. F. et al. (1971) Promyshlennoe poluchenie poroshkov ferrosilitsija metodom raspylenija rasplava. *Poroshkovaja metallurgija*, 4, 81–85.

7. Ternovoj, Yu. F., Kudievskij, S. S., & Pashetneva, N. N. (2005) *Inzhenernye pascheti tehnologicheskikh protsessov raspylenija rasplavlennyh metallov*. Zaporozhje : ZGIA.

8. Ternovoj, Yu. F., Bilan, V. I., & Pogozhin, T. B. et al. (1990) Poluchenie poroshkov kompleksnyh ligatur raspyleniem rasplava vodoj vysokogo davlenija : V Nats. nauch.-tehnic. konf. *Novye materialy i tehnologii v poroshkovej metallurgii*. Sofija, 31–32.

9. Ternovoj, Yu. F., Bilan, V. I., & Aleksandrov, A. P. (1988) *Sposob poluchenija passivirovannogo poroshka sredneuglerodistogo ferromargantsa*. A.C. 1603649, SSSR.

10. Ternovoj, Yu. F., Pashetneva, N. N. Kononenko, A. A. & Kurpatchenko, A. B. (2005) Tekhnologii i oborudovanie “UkrNIIspeccstali” dlja proizvodstva raspylennyh metallicheskih poroshkov. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost*, №6, 84–88.

Терновой Ю. Ф., Воденникова О. С., Билан В. И. ПОЛУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ЛИГАТУР НА ОСНОВЕ МАРГАНЦА МЕТОДОМ РАСПЫЛЕНИЯ РАСПЛАВА ВОДОЙ

Предложена технология получения комплексных лигатур сложного химического состава путем водного распыления сплавов и получения смеси вместо механического дробления простых ферросплавов. Полученные комплексные лигатуры системы Mn-Si-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni и Mn-Si-Ni-Cr-Mo при давлении распыления воды до 5,5 МПа имеют высокую текучесть и мелкодисперсность фазового состава, и обеспечивают закалку в пределах 10^5 - 10^7 К/с. Использование порошковых комплексных лигатур на основе марганца при изготовлении порошковой проволоки позволяет достичь высоких технологических и механических характеристик сварных соединений, особенно при их эксплуатации в условиях низких температур, и улучшить экологическую обстановку, снизить пожаро- и взрывоопасность за счет пассивирования порошка при распылении расплава водой высокого давления.

Ключевые слова: *металлический порошок, распыленный порошок, комплексная лигатура, частица, водное распыление, лигатура на основе марганца, расплавленный металл, сварочные соединения.*

Ternovyi Yu. F., Vodennikova O. S., Bilan V. I. OBTAINING COMPLETE MANGANESE-BASED ADDITION ALLOYS BY UTILIZING THE SPUTTERING METHOD OF LIQUID-ALLOY BY WATER

Technology of obtaining complex ligatures by means water atomization of alloys as opposed to mechanical crushing individual ferroalloys is proposed. Complex ligatures based on manganese such as Mn-Si-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni and Mn-Si-Ni-Cr-Mo obtained at pressure of water up to 5,5 MPa have high fluidity, fine size of phases, and ensure quenching rate within 10^5 - 10^7 K/s. Using powder complex ligatures based on manganese at production of powder wire it is possible to achieve high technological and mechanical properties of welded joint, in particular in operating at low temperatures, and to improve ecological status, fire and explosion safety due to passivating powders during high pressured water atomization of melts. As a result of the experimental studies it was found: 1. The use of complex ligatures of the system Mn-Si-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni-Ti, Mn-Si-Mo-Ni and Mn-Si-Ni-Cr-Mo as an additive in the electrode wire is more appropriate than the use of individual components of the complex ligatures. The use of sputtered alloy powders instead of mechanical crushing of simple ferroalloys of their own chemical composition and their mixtures lead to a homogeneous structure and increase of technological parameters and quality of the electrodes.

Keywords: *metal powder, dispersed powder, complete addition alloy, particle, water sputtering, manganese-based addition alloy, molten metal, welded joints.*

© Терновий Ю. Ф., Воденнікова О. С., Білан В. І

Статтю прийнято
до редакції 13.05.19