

## ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЕВИХ ТА ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ ТЕРМОРЕАГУЮЧИМИ СУМІШАМИ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*В роботі описані методи зміцнення поверхні деталей терморезаючими порошковими сумішами, що застосовуються в якості покриттів. Ці суміші містять порошки карбідотвірних металів та вуглецю. Екзотермічні реакції ініціюються в них від зовнішнього джерела тепла і, як наслідок, утворення хімічно і механічно міцних карбідів в залізов'язуючій ці карбіди матриці – щільний моноліт. Ці суміші можуть бути використані в разі газотермічного зміцнення поверхонь деталей.*

### ВСТУП

Проблема поверхневого зміцнення робочих органів ґрунтообробної техніки, багатьох деталей тракторів та сільськогосподарських машин повинна вирішуватися шляхом використання найбільш дешевих конструкційних матеріалів і технологій. Описані в цій статті дешеві та недефіцитні суміші спочатку з успіхом використовувались у ливарному виробництві для поверхневого легування сталевих виливків [1]. Ці суміші є терморезаючими, однак тепловий ефект взаємодії компонентів недостатній для підтримки самовільної реакції горіння без додаткового зовнішнього джерела тепла. При наявності останнього в них ініціюються і підтримуються екзотермічні реакції, в результаті яких синтезуються стабільні карбіди і вивільняється залізо, що зв'язує ці карбіди в щільний і міцний моноліт. В результаті цих реакцій температура додатково підвищується у всьому об'ємі, а зміцнюваний шар металу переходить у двофазний рідко-твердий стан. Спостерігається міцне зварювання шару, що наноситься, з металом деталі – сталю або чавуном, що дозволяє застосовувати ці суміші і при наплавочних методах поверхневого зміцнення деталей.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Найдешевша і досить високоефективна терморезаюча суміш складається з порошку чавуну і подрібненого низьковуглецевого феррохрому. Екзотермічну реакцію, яка при цьому проходить, можна розбити на дві:  $Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$  та  $(Cr, Fe) + C \rightarrow M_3C$  або  $M_7C_3$ , де М - атоми Cr або Fe. Перша реакція відповідає розпаду цементиту (графітизації) у нелегованому білому чавуні. Її внесок в загальний тепловий ефект малий. Друга реакція більш екзотермічна, причому тим більша, чим вищий вміст хрому у змішаних карбідах типу  $M_3C$  або  $M_7C_3$ . Ще більш екзотермічні суміші типу чавун з феррованадієм.

У таблиці 1 наведено результати розрахунків термохімічних параметрів для двох типів феросплавів при різному масовому вмісті вуглецю у чавуні – від 2,2 до 6,2 %.

Таблиця 1 – Термохімічні параметри терморезаючих сумішей на базі низьковуглецевих феросплавів та білого чавуну з різним вмістом вуглецю

Масовий вміст вуглецю у чавуні, %	Співвідношення мас компонентів суміші феросплав-чавун		Тепловий ефект реакції, кДж/моль		Адіабатична температура горіння, °С	
	I*	II**	I*	II**	I*	II**
2,2	13/87	8/92	10,3	13,7	219	309
2,6	16/84	11/89	13,8	18,6	265	380
3,0	19/81	13/87	17,6	22,3	307	424
3,4	21/79	16/84	21,9	27,1	345	468
3,8	23/77	18/82	26,8	33,2	381	519
4,2	25/75	20/80	32,5	40,0	415	565
4,6	27/73	22/78	39,0	47,6	460	608
5,0	29/71	24/76	45,6	56,2	475	644
5,4	31/69	26/74	55,7	67,1	502	678
5,8	33/67	28/72	66,6	80,6	528	722
6,2	31/69	31/69	80,1	96,4	551	758

I\* - феррохром; II\*\* - феррованадій

Розроблена програма дозволила реалізувати алгоритм розрахунку параметрів різних екзотермічних сумішей на ЕОМ. Як бачимо, тепловий ефект і адіабатична температура горіння сумішей різко зростають з підвищенням вмісту вуглецю у чавуні.

Застосовувалися такі способи отримання порошків білого чавуну з високим вмістом вуглецю: розмелювання стружки білого чавуну від механічної обробки прокатних валків та борошномельних вальців; виплавка сплавів Fe–C в індукційній або дуговій електропечі з перегрівом розплаву до 1700 °C (з метою максимального його науглецювання) і подальшим розпилюванням водою або азотом; науглецювання залізного порошку в печах газової цементації; синтез карбідів Fe<sub>3</sub>C або Fe<sub>7</sub>C<sub>3</sub> під тиском.

За допомогою першого способу можна отримувати порошок дешевий, але з вмістом вуглецю не більше 3,5–3,8 %, два наступних дозволяють виготовляти більш дорогі порошки з вмістом вуглецю до 6 %, а четвертий – синтезувати сплави Fe–C типу цементиту [2], тобто з вмістом вуглецю 6,6–6,7 %, і навіть суміші Fe<sub>3</sub>C – Fe<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, що містять 7–8 % C, які у суміші з порошками хрому і ванадію забезпечують адіабатичну температуру горіння 1000 °C і вище. Можливе також застосування розмеленої стружки сірого чавуну, однак в цьому випадку перша реакція майже повністю виключається, що з урахуванням її малого вкладу у сумарний екзотермічний ефект не принципово. Інший недолік такої заміни полягає у викришуванні пластинок графіту з частинок сірого чавуну при утворенні стружки, при її збиранні та розмелюванні, у сегрегації порошку графіту при цих операціях, а також при транспортуванні і зберіганні. Ці втрати графіту можна заповнювати добавкою сажі. Дослідження показали, що певні характерні для сажі загальні властивості, виключають її сегрегацію у цих сумішах.

Нижче описані деякі результати зміцнення деталей сумішами: порошок низьковуглецевого ферохрому – мелена стружка білого чавуну. Суміш наносили на деталі у вигляді шликера. Шар, що утворився, висушували, а потім нагрівали плазмотроном аж до ініціювання екзотермічної реакції та надання йому рідко-твердого стану. Зазначені реакції істотно згладжують температурний градієнт за товщиною шару і сприяють повному приварюванню останнього до металу деталі. Утворення двофазної маси розплав–карбіди з дуже низькою текучістю, порівняно з однофазним рідким станом шару при звичайному наплавленні, запобігає «сповзанню» маси з похилих поверхонь, що зміцнюються (якщо кут нахилу невеликий).

На рис. 1 показаний макрошліф сталевго валика, зміцненого на глибину 2 мм.

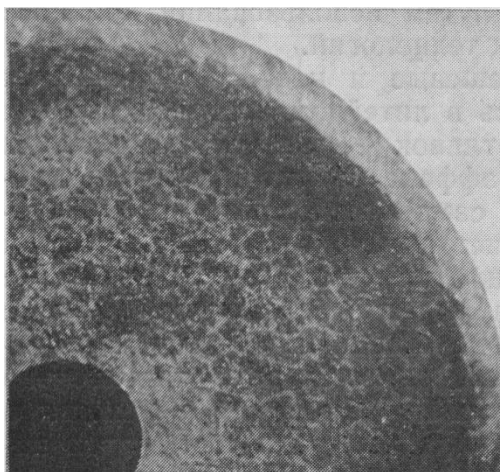


Рисунок 1 – Макроструктура шліфа сталевго валика з нанесеним на нього зносостійкого хромистого шару товщиною 2×4 мм. Травлення ніталем

Мікроструктура зони сплавлення сталі з поверхневим шаром представлена на рис. 2. Він має дрібнозернисту будову, відповідає принципу Шарпі: суміш твердих карбідів і м'якої залізної матриці зі структурою перліту, сорбіту або трооститу – залежно від швидкості охолодження.

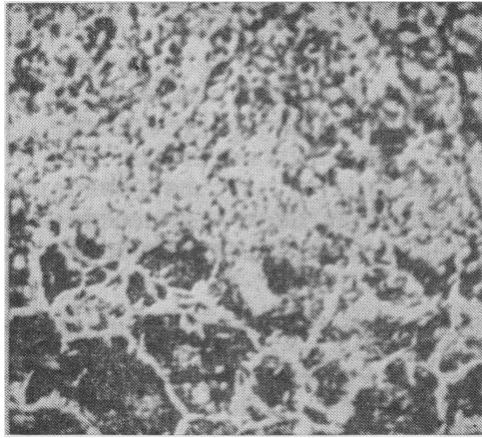


Рисунок 2 – Мікроструктура показаного на рис. 1 валика у зоні сплавлення нанесеного шару зі сталеву основою  $\times 100$



Рисунок 3 – Мікроструктура чавунного валика у зоні сплавлення нанесеного хромистого шару з металом основи  $\times 100$

Як видно з мікроструктури зони сплавлення сірого чавуну з аналогічно отриманим карбідним шаром (рис. 3), метал деталі, що зміцнюється, у порівнянні зі сталю більш легкоплавкий, сильніше оплавляється, змішується з металом хромистого шару. Останній тому твердіє вже з утворенням класичної ледебуритної структури, менш вигідної з точки зору принципу Шарпі.

#### ВИСНОВКИ

Нанесені на сталь і чавун зносостійкі шари залежно від співвідношення в них фази карбиду і залізної матриці, а також від швидкості охолодження аустенітної фази та отриманих продуктів її перетворення мають високу твердість – у межах від HRC<sub>3</sub>, 52 до HRC<sub>3</sub>, 63. Утворюється класична структура, яка відповідає принципу Шарпі.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Применение металлотермии в литейном производстве / А. А. Жуков, А. Г. Мержанов, И. П. Боровинская и др. // Литейное про-во. – 1984. – № 11. – С. 2–3.
2. Савуляк В. І. Побудова та аналіз моделей металевих сплавів / В. І. Савуляк, А. А. Жуков, Г. О. Чорна. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 200 с.

#### REFERENCES

1. Primenenie metallotermii v liteynom proizvodstve. /A. A. Gukov, A. G. Merganov, I. P. Borovinskay i dr. // Liteynoe proizvodstvo/ – 1984.– № 11. – S. 2–3.
2. Savulyak V. I. Pobudova ta analiz modeley metalevih splaviv. / Savulyak V. I., A. A. Gukov, Choryay G. O. – Vinnytsya: YNIVERSUM-Vinnytsya, 1999. – 200 s.

## ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЕВИХ ТА ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ ТЕРМОРЕГУЮЧИМИ СУМІШАМИ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

Актуальною задачею є створення дешевих терморегулюючих сумішей здатних зміцнювати робочі органи ґрунтообробної техніки. При наявності зовнішнього джерела тепла в нанесених сумішах ініціюються і підтримуються екзотермічні реакції, в результаті яких синтезуються стабільні карбіди і вивільнюється залізо, що зв'язує ці карбіди в щільний і міцний моноліт. Для визначення складу сумішей проведено розрахунки та отримано результати термохімічних параметрів для двох типів феросплавів при різному масовому вмісті вуглецю у чавуні – від 2,2 до 6,2 %..

Суттєво підвищує міцність, твердість та зносостійкість поверхневого шару додавання у якості легувального елемента хрому та ванадію (Cr та V), за рахунок утворення карбідів в процесі екзотермічної реакції.

Задачею роботи була розробка заходів для створення такої суміші та використання її при газотермічному зміцненні деталей. Суміш: порошок низьковуглецевого ферохрому – мелена стружка білого чавуну – наносили на деталі у вигляді шлікера. Шар, що утворився, висушували, а потім нагрівали плазмотроном аж до ініціювання екзотермічної реакції та надання йому рідко-твердого стану. Зазначені реакції істотно згладжують температурний градієнт по товщині шару і сприяють повному приварюванню останнього до металу деталі. Утворення двофазної маси розплав – карбіди з дуже низькою текучістю, порівняно з однофазним рідким станом шару при звичайному наплавленні, запобігає «сповзанню» маси з похилих поверхонь, що зміцнюються (якщо кут нахилу невеликий).

Аналіз мікроструктури наплавленого шару показав, що він має дрібнозернисту будову, відповідає принципу Шарпі: суміш твердих карбідів і м'якої залізної матриці зі структурою перліту, сорбіту або трооститу – залежно від швидкості охолодження. Має високу твердість – у межах від HRC<sub>3</sub> 52 до HRC<sub>3</sub> 63.

Ці суміші можуть бути використані в разі газо-термічного зміцнення поверхонь деталей.

**Ключові слова:** екзотермічні реакції; терморегулюючі суміші; карбідоформуючі метали; принцип Шарпі.

*Шиліна Олена Павлівна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет, e-mail: shilina.tpz@gmail.com

O. Shilina<sup>1</sup>

## HARDENING OF STEEL AND CAST IRON PARTS THERMOREGULATE MIXTURES

<sup>1</sup>Vinnitsia national technical University

The actual problem is the creation of cheap thermoregulatory mixtures can strengthen the working bodies pecoupon technology. If you have an external source of heat applied to mixtures initiated and supported exothermic reaction, resulting in stable carbides are synthesized and released iron that binds the carbides in dense and strong monolith. To determine the composition of mixtures the calculations and the results obtained thermochemical parameters for the two types of ferro-alloys at various mass contents of carbon in cast iron – from 2.2 to 6.2%..

Significantly increases the strength, hardness and wear resistance of the surface layer of the addition as an alloying element, chromium and vanadium (Cr and V), due to the formation of carbides in the exothermic reaction.

The goal of the study was to design events to create such a mixture and use it with thermal hardening of parts. The mixture powder of low-carbon ferrochromium – ground chips of white cast iron was applied to the parts in the form of dross. Layer, formed, dried, and then heated with a torch until the initiation of the exothermic reactions, and provide the liquid-solid state. These reactions significantly smooth the temperature gradient across the thickness of the layer and contribute to the full preparando latest to metal parts. The

formation of two-phase mass melt-carbides with very low rdataset, compared with single-phase liquid state at normal layer coating prevents "slipping" of the masses with inclined surfaces that are strengthened (if the tilt angle is small).

The analysis of the microstructure of the deposited layer showed that he has a fine-grained structure, in line with the principle Sharpie: a mixture of solid soft iron carbides and the matrix structure of pearlite, sorbite or troostite, depending on the cooling rate. Has a high hardness in the range of HRC 52 to 63 HRC.

The se mixtures can be used in case of gas-thermal surface hardening of parts.

**Key words:** exothermal reactions; thermoreacting mixtures; carbideforming metals; principle Sharpie.

*Shilina Olena*, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Wearproofness increase technology department, Vinnytsya National Technical University, e-mail: shilina.tpz@gmail.com

**Е. П. Шилина<sup>1</sup>**

## УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕРМОРЕАГИРУЮЩИМИ СМЕСЯМИ

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

Актуальной задачей является создание дешевых термореагирующих смесей способных упрочнять рабочие органы почвообрабатывающей техники. При наличии внешнего источника тепла в нанесенных смесях инициируются и поддерживаются экзотермические реакции, в результате которых синтезируются стабильные карбиды и высвобождается железо, что связывает эти карбиды в плотный и прочный монолит. Для определения состава смесей проведенны расчеты и получены результаты термохимических параметров для двух типов ферросплавов при различном массовом содержании углерода в чугуне – от 2,2 до 6,2 %.

Существенно повышает прочность, твердость и износостойкость поверхностного слоя добавление в качестве легирующего элемента хрома и ванадия (Cr и V), за счет образования карбидов в процессе экзотермической реакции.

Задачей работы была разработка мероприятий для создания такой смеси и использования ее при газотермическом упрочнении деталей. Смесь: порошок низкоуглеродистого феррохрома – молотая стружка белого чугуна – наносили на детали в виде шликера. Образовавшийся слой, высушивали, а затем нагревали плазмотроном вплоть до инициирования экзотермической реакций и предания ему жидко-твердого состояния. Указанные реакции существенно сглаживают температурный градиент по толщине слоя и способствуют полному привариванию последнего к металлу детали. Образование двухфазной массы расплав – карбиды с очень низкой текучестью, по сравнению с однофазным жидким состоянием слоя при обычной наплавке, предотвращает «сползание» массы с наклонных упрочняемых поверхностей (если угол наклона небольшой).

Анализ микроструктуры наплавленного слоя показал, что он имеет мелкозернистое строение, соответствует принципу Шарпи: смесь твердых карбидов и мягкой железной матрицы со структурой перлита, сорбита или троостита – в зависимости от скорости охлаждения. Имеет высокую твердость – в пределах от HRCэ 52 до HRCэ 63.

Эти смеси могут быть использованы в случае газо-термического упрочнения поверхности деталей.

**Ключевые слова:** экзотермические реакции; термореагирующие смеси; карбидоформирующие металлы; принцип Шарпи.

*Шилина Елена Павловна*, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии повышения износостойкости, Винницкий национальный технический университет, e-mail: thshilina.tpz@gmail.com