

5. Zhukov A. A., Ramani A. S., Zhiguts Yu. Yu. Modifications of Hillert equation and their application in phase diagram computation. *OPA. Amsterdam B.V. Metal Physics and Advanced Technologies*. 1997. Vol. 16. P. 821–839.

6. Zhukov A. A., Zhiguts Yu. Yu. Extension of the Hillert method upon computing of component activities of triple systems on two- and three-phase regions of isometric sections of state diagrams which don't contact the diagrams of two-systems. *Phase Diagrams in Materials Science: 6-th International School-Conference*. Kyiv, 2001. P. 58–60.

7. Жигуц Ю. Ю. Методика розрахунку характеру фазових діаграм стану сплавів з використанням координат Скрейнемакерса. *Машинознавство*. 2003. № 9. С. 50–53.

**УДК 669.018.291(045)**

## **ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМІТНОЇ ЯКІСНОЇ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ**

Жигуц Ю. Ю., Ігнатишин М. І., Лазар В. Ф., Копча О. І.

### **PROPERTIES OF THERMITE QUALITY STRUCTURAL STEEL**

Zhiguts Yuriy, Ignatychn Mykola, Lazar Vasuylj, Kopcha Oleksandr

*The paper analysed the technology of thermite steel, counterpart industrial grade “steel 20”. The authors investigated the thermite steel, its chemical composition, structure features, mechanical and service properties. The changes of mechanical properties on the temperature dependence of ductility on the duration and temperature tests are set. The manufacture of thermite steel used main advantages metallothermic synthesis. The technology of synthesis can be used in an emergency billet welding and repair parts.*

**Keywords:** *thermite steels, synthesis, metallothermic charge, properties, termites melting.*

*В роботі проаналізована технологія отримання термітної сталі, аналога промислової сталі 20. Автор дослідив термітну сталь, її хімічний склад, особливості структури, механічні та службові властивості. Виявлено зміну механічних властивостей від температури, встановлено залежність пластичності термітної сталі від тривалості і температури випробувань. При виготовленні термітної сталі реалізовані основні переваги металотермічного синтезу. Розроблену технологію можна використовувати при екстремому зварюванні заготовок та ремонті деталей.*

**Ключові слова:** *термітна сталь, синтез, металотермічна шихта, властивості, термітне плавлення.*

У практиці машинобудівного виробництва широко застосовуються конструкційні сталі. Одною з найбільш типових у даному класі сталей є сталь 20, яка має широкий спектр технологічних і службових властивостей. Конструкційна сталь вказаної марки використовується і в енергетичному машинобудуванні для деталей, що працюють при температурах 400-450°C. Вищі температури експлуатації деталей з цього сплаву призводять до графітизації сталі, а ступінь

графітизації залежить ще і від ступені розкисленості, способу розкислення, хімічного складу сталі.

З минулого століття відомі також металотермічні способи отримання сплавів. Частина з них заснована на класичних термітних реакціях [1]. Незважаючи на те, що в технологіях синтезу сплавів, заснованих на термітних реакціях, отримуються заготовки і деталі дорожчі, ніж при застосуванні ординарних промислових технологій, у певних умовах вони стають економічно доцільними. Слід тільки використати переваги таких технологій, а саме, високу продуктивність, універсальність і автономність (для їх реалізації не потрібні крупні джерела електроенергії, не потрібне складне ливарне обладнання), не в останню чергу важливим є і малий час на впровадження технології у виробництво [2-5] та ін.

Все наведене вище поставило науково-технічну проблему, яка полягає у встановленні можливості синтезу термітним способом вуглецевої термітної сталі, дослідження її технологічних і службових властивостей та використання матеріалу для отримання спеціальних деталей енергетичного машинобудування та їх ремонту.

Встановлення механічних властивостей при різних температурах, виявлення залежності пластичності термітної сталі від тривалості і температури випробувань, а також дослідження релаксаційної стійкості при певних температурах.

Матеріали та методика проведення металотермічного плавлення. Матеріали використані для компонування металотермічної суміші: ферохром ФХ65-7А ГОСТ 47570-79; силікомарганець СМн26 ГОСТ 4756-77; феросиліцій ФС65Ал3,5 ГОСТ 1415-78; порошок алюмінієвий марок ПА-3–ПА-4 ГОСТ 6058-73 та просіяне млино алюмінієвої стружки; феромарганець ФМн70 ГОСТ 4761-80; залізна окалина (ковальського та прокатного виробництв) з середнім хімічним складом (% за масою): 0,05 С; 0,10-0,35 Si; 0,10-0,35 Mn; 0,01-0,03 S; 0,01-0,03 P; 40-50 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 50-60 FeO та ін.

Для визначення маси металевого зливка і виходу металу з шихти проведені

мікроплавлення з масою шихти 300 г у металотермічному реакторі діаметром 80 мм з різним процентним співвідношенням компонентів у суміші. Ініціювання процесу горіння виконувалося спеціальним титановим запалом. Шихту попередньо розраховували за стехіометричними співвідношеннями компонентів реакції [5], а у подальшому її склад коригували за допомогою коефіцієнтів засвоєння компонентів реакції. Порошкову шихту попередньо просушували при температурі 150-180°C, перемішували і ущільнювали, а після цього розміщували у верхню камеру металотермічного реактора [5,6]. Для покращення шлаковідділення у шихту додавали польовий шпат ( $\text{CaF}_2$ ). Після плавлення відокремлювали сплав від шлаку, оцінюючи структуру шлаку, і проводили контрольне зважування, досліджували синтезований зливочок. Третій етап [5] полягав у корекції складу шихти за рахунок внесення відповідних інертних домішок.

Методика термохімічних розрахунків та теоретичні дослідження. Після встановлення складу шихти за стехіометричними коефіцієнтами хімічної реакції та корекції її коефіцієнтами засвоєння компонентів шихти, проводили розрахунок адіабатичної температури горіння [5]. При проведенні розрахунків за існуючими методиками не враховували сублимацію алюмінію, що дає несуттєву похибку встановлення адіабатичної температури ( $T_a$ ) та теплоти утворення продуктів реакції ( $Q$ ). Основний критерій отримання злиwkів –  $T_a$  повинна для всіх реакцій бути вище температури плавлення продуктів реакції ( $T_{пл}$ ). Розрахунок  $T_a$  не враховує тепловтрати у процесі горіння та повноту перетворення реагентів у продукти реакції. У спрощеній схемі розрахунку  $T_a$  визначали без врахування точних значень теплоємностей, а тепловий ефект встановлювали при середній температурі (наприклад, 2500 K). Зміною ж теплового ефекту, коли продукти реакції знаходяться у рідкому стані, можна знехтувати.

Помилку, пов'язану із екстраполяцією, оцінюють у сто градусів.

Експериментальні дослідження. Відомо, що добре розкислена промислова сталь більш схильна до графітизації, ніж напівспокійна або кипляча. Така ж

ситуація виникає і при додатковому розкисленні надлишковим порошковим алюмінієм з шихти. В результаті експериментальних робіт виявлено, що термітна сталь 20 починає помітно графітуватися через 10 тисяч годин. Особливо суттєво ці процеси відбуваються у навколошовній зоні після термітного зварювання, саме там, де температура зони термітного впливу складає більше 500-700оС.

Ще однією особливістю металотермічного синтезу є висока температура у зоні реагування компонентів реакції. При використанні двокамерної конструкції металотермічного реактора [1,6] збільшується і тривалість витримки рідкого розплаву у нижній камері, що суттєво сприяє глобуляризації синтезованих карбідів. Вплив вказаних двох процесів, які проходять одночасно при твердненні і охолодженні термітної сталі, призводять до зменшення її міцності, пластичності і ударної в'язкості. Структура досліджуваної сталі складається з фериту і окремих ділянок перліту різної щільності. Тільки при отриманні виливків у кокілі у прикірковій зоні спостерігаються структури мартенситного типу.

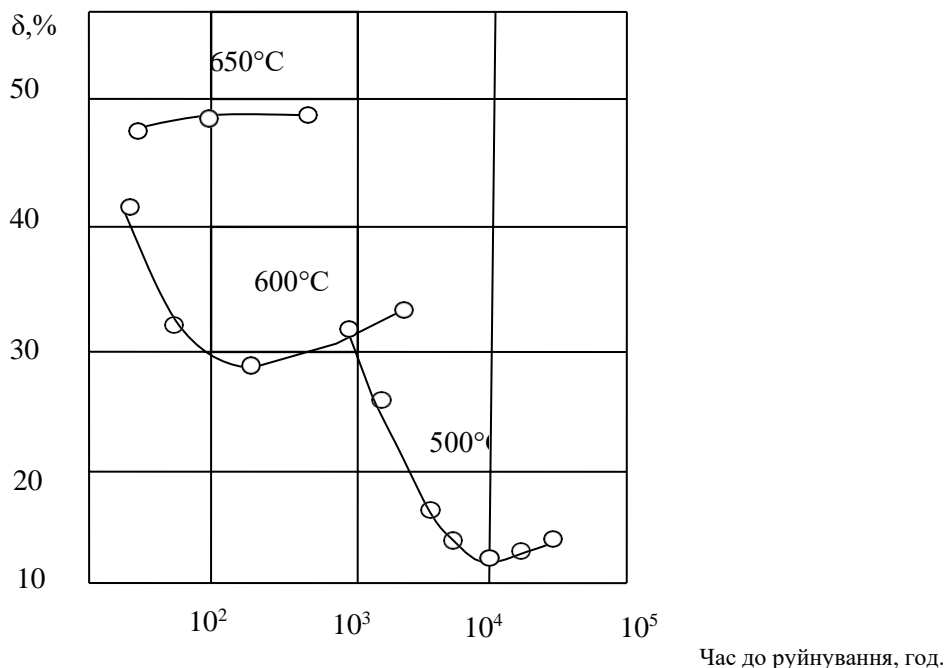
Експериментальні дослідження дозволили встановити залежність пластичності від тривалості і часу випробувань для термітної вуглецевої сталі з вмістом 0,18% С, 0,5% Мп, 0,7 % Si та 0,05% Р і 0,05 S при температурах 550, 600 та 650 оС. Результати цих випробувань показано на рис. 1.

Отримані значення механічних властивостей термітної сталі 20 у залежності від температури випробувань зведено у табл. 1. Слід звернути увагу і на те, що при температурі 450 оС границя витривалої міцності, що викликає руйнування за 10000 годин ( $\sigma_{10^4}$ ) відповідає 60 МПа та для 100000 годин ( $\sigma_{10^5}$ ) – 85 МПа, а при 500 оС –  $\sigma_{10^4}=3,2$  МПа та  $\sigma_{10^5}=6,9$  МПа відповідно.

Продовження експериментальних досліджень було направлено на встановлення релаксаційної стійкості сталі – аналога за хімічним складом промислової сталі 20 при 400 і 500 оС. Отримані результати зведено у табл. 2.

Обговорення результатів дослідження. Аналіз зміни механічних властивостей у залежності від температури та релаксаційної стійкості досліджуваної термітної сталі при порівнянні з властивостями промислової

свідчить, що металотермічний спосіб отримання позитивно вплинув на термітну сталь 20.



**Рис. 1. Залежність пластичності термітної сталі, аналога конструкційної сталі 20 від тривалості і температури випробування**

**Таблиця 1**

**Умовна границя текучості при допуску на пластичну деформацію 0,2% ( $\sigma_{0,2}$ ), границя міцності на розтяг ( $\sigma_B$ ), відносна пластичність зразка ( $\delta$ ), відносне звуження зразка ( $\varphi$ ), ударна в'язкість ( $a_n$ ) та модуль нормальної пружності ( $E$ ) термітної сталі 20 при різних температурах**

Температура випробування, °C	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta$	$\varphi$	$a_n, \times 10^2,$ кН·м/м <sup>2</sup>	$E, \times 10^3,$ Н/м <sup>2</sup>
	МПа		%			
20	258	491	21,5	58,3	8-16	2,08
100	235	423	23,1	62,2	14	1,92
200	209	372	23,7	64,6	14-18	1,68
300	153	368	26,3	68,1	16-20	1,65
400	128	362	28,5	69,8	10-13	1,63
450	126	329	29,3	73,1	8-11	1,49
500	112	235	32,8	75,6	7-8	-
550	85	197	35,6	81,1	7-9	-
600	61	154	44,1	88,7	-	-

Таблиця 2

**Релаксаційна стійкість термітної сталі аналога промисловій сталі 20**

Температура °С	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа за період год.							
		25	100	500	1000	2000	3000	5000*	10000*
400	80-	4,5-	9,5-	8,7-	8,2-	2,7-	2,2-	1,9-	1,7-
	140	9,3	3,9	3,4	2,9	7,9	7,3	7,0	6,5
500	50-	3,7-	7,1-	6,3-	6,0-	9,5-	2,1-	2,0-	1,8-
	110	7,5	3,9	3,1	2,9	4,7	3,9	3,7	3,2

\*Значення залишкових напружень для 5000 і 10000 год. отримані в результаті екстраполяції.

Досліджені властивості сталі виявилися не гіршими, а пластичність у залежності від тривалості і температури випробування навіть на 9,5-15% краща. Не менш важливо і те, що розроблену технологію синтезу термітної сталі можна успішно використовувати при екстремому зварюванні заготовок за допомогою металотермічних паст та ремонті деталей.

Висновки. 1. Досліджені механічні і службові властивості термітної сталі (аналога промислової марки сталі 20), а саме встановлено зміну механічних властивостей від температури, залежність пластичності від тривалості і температури випробувань. 2. Встановлено особливості структури термітної сталі, зокрема, виявлено вплив металотермічного способу синтезу сплаву на процеси графітизації та на формування і розподіл карбідів у термітній сталі.

**Список використаних джерел**

1. Жигуц Ю. Ю. Сплави, синтезовані металотермією і СВС-процесами: монографія. Ужгород: Гражда, 2008. 276 с.
2. Жигуц Ю., Лазар В. Ресурсозберігаюча технологія термітного зварювання сталевих деталей. *Вісник ТДТУ*. Тернопіль, 2009. Том 14, № 4. С. 94–98.
3. Жигуц Ю. Ю. Технологія отримання термітних суднобудівних сталей. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*: збірник наукових праць. 2012. № 3(28). С. 283–286.
4. Жигуц Ю. Ю. Використання термітних легованих сталей для живлення виливків. *Вісник національного університету „Львівська політехніка”*. Львів: НУ „Львівська політехніка”, 2007. № 583. С. 118–122.
5. Жигуц Ю., Широков В. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу. *Машинознавство*. Львів, 2005. № 4. С. 48–50.
6. Жигуц Ю. Ю. Синтез термітних кавітаційностійких сталей. *Прикладная физика и*

*материаловедение*: восточно-европейский журнал передовых технологий. Харьков: Техн. центр, 2013. № 1/5(61). С. 4–6.

### References

1. Zhiguts, Yu.Yu. 2008. Splavy, syntezovani metalotermiieiu i SVS-protsesamy [Alloys synthesized by metallothermy and SVS-processes]. Uzhgorod: Grazhda.
2. Zhiguts, Yu., and Lazar V. 2009. “Resursozberihaiucha tekhnolohiia termitnoho zvariuvannia stalevykh detalei [Resource-saving technology of thermit welding of steel parts]”. *Bulletin of TDTU* 14, 4: 94–98.
3. Zhiguts, Yu. Yu. 2012. “Tekhnolohiia otrymannia termitnykh sudnobudivnykh stalei [The technology of obtaining termite shipbuilding steels]”. *Bulletin of the Donbas State Machine-Building Academy* 3(28): 283–286.
4. Zhiguts, Yu. Yu. 2007. “Vykorystannia termitnykh lehovanykh stalei dlia zhyvlennia vylyvkiv [The use of thermit alloyed steels for feeding castings]”. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University* 583: 118–122.
5. Zhiguts, Yu., and Shirokov, V. 2005. “Metodyka rozrakhunku skladu ekzotermichnykh shykht na osnovi termokhimichnoho analizu [Methodology for calculating the composition of exothermic charges based on thermochemical analysis]”. *Mechanical engineering* 4: 48–50.
6. Zhiguts, Yu.Yu. 2013. Syntez termitnykh kavitatsiinostiikykh stalei [Synthesis of thermit cavitation-resistant steels]”. *Applied physics and materials science* 1/5(61): 4–6.

**УДК 51:004.056.55:004.05(045)**

## ТЕХНОЛОГІЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ШИФРУВАННІ ІНФОРМАЦІЇ

Ігнатишин М. І., Жигуц Ю. Ю., Лазар В. Ф.

### RESOURCE SAVING TECHNOLOGY IN ENCRYPTING INFORMATION

Ihnatyshyn Mykola, Zhiguts Yuriy, Lazar Vasyl

*Шифрування інформації та енергозбереження є двома різними концепціями, але можуть мати певний зв'язок у деяких аспектах. Ефективне управління інформацією може допомогти зменшити кількість ресурсів. Наприклад, використання компресії даних дозволяє зменшити обсяг інформації, яка потрібна для збереження, і, крім того, зменшує вимоги до обладнання та пропускної здатності. У процесі шифрування можна використовувати алгоритми, які вимагають значних обчислювальних ресурсів. Це може призвести до більшого споживання енергії в пристроях, що використовують шифрування. Особливо це стосується мобільних пристроїв, які мають обмежені ресурси, таких як смартфони або планшети. Хаотична динаміка може бути застосована для створення ефективних криптографічних систем у контексті генерації ключів, шифрування та розшифрування даних. Розглянуто застосування хаотичної динаміки подвійного маятника для генерації шифрувальної матриці та шифрування зображення.*

**Ключові слова:** шифрування, хаотична динаміка.

*Information encryption and energy saving are two different concepts, but may have some connection in some aspects. Effective information management can help reduce the number of resources. For example, using data compression can reduce the amount of information that needs to be stored and, in addition, reduces hardware and bandwidth requirements. Algorithms that require*



# МУКАЧІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

89600, м. Мукачево, вул. Ужгородська, 26

тел./факс +380-3131-21109

Веб-сайт університету: [www.msu.edu.ua](http://www.msu.edu.ua)

E-mail: [info@msu.edu.ua](mailto:info@msu.edu.ua), [pr@mail.msu.edu.ua](mailto:pr@mail.msu.edu.ua)

Веб-сайт Інституційного репозитарію Наукової бібліотеки МДУ: <http://dspace.msu.edu.ua:8080>

Веб-сайт Наукової бібліотеки МДУ: <http://msu.edu.ua/library/>