

6. Shigemoto, N., Hayashi, H., Miyaura, K., 1993. Selective formation of Na-X, zeolite from coal fly ash by fusion with sodium hydroxide prior to hydrothermal reaction. J. Mater. Sci. 28,4781– 4786.
7. Shigemoto, N., Sugiyama, S., Hayashi, H., 1995. Characterization of Na-X, Na-A, and coal fly ash zeolites and their amorphous precursors by IR, MAS NMR and XPS. J. Mater. Sci. 30, 5777– 5783.
8. Singer, A., Berggaut, V., 1995. Cation exchange properties of hydrothermally treated coal fly ash. Environ. Sci. Technol. 29 (9),1748–1753.
9. Park, M., Choi, C.L., Lim, W.T., Kim, M.C., Choi, J., Heo, N.H., 2000. Molten-salt method for the synthesis of zeolitic materials: I. Zeolite formation in alkaline molten-salt system. Microporous Mesoporous Mater. 37, 81– 89.
10. Park, M., Choi, C.L., Lim, W.T., Kim, M.C., Choi, J., Heo, N.H., 2000. Molten-salt method for the synthesis of zeolitic materials: II. Characterization of zeolitic materials. Microporous Mesoporous Mater. 37, 91– 98.
11. Hollman, G.G., Steenbruggen, G., Janssen-Jurkovicova, M., 1999. A two-step process for the synthesis of zeolites from coal fly ash. Fuel. 78, 1225– 1230.
12. Breck, D.W., 1984. Ion Exchange Reactions in Zeolites. Chapter 7 of Zeolite Molecular Sieves, Structure, Chemistry, and Use Robert E. Krieger Publishing, Malabar, FL TIC: 245213.

*Розроблено склад чавунного литого прутка для газового і електродугового зварювання високоміцного чавуну на основі прутків марки А з додаванням легуючих елементів, що містить рідкоземельні метали і бор*  
**Ключові слова:** ремонт, чавун, зварювання, прутки, легування

*Разработан состав чугуна литого прутка для газовой и электродуговой сварки высокопрочного чугуна на основе прутков марки А с добавлением легирующих элементов, содержащий редкоземельные металлы и бор*

**Ключевые слова:** ремонт, чугун, сварка, прутки, легирование

*Composition of the cast-iron cast small twig is developed for gas and arc-metal of the welding of durable cast-iron on the basis of prutkov of brand A and with addition of alloying elements, containing rare-earth metals and coniferous forest*

**Keywords:** repair, cast-iron, welding, rod, alloying

УДК 621.791

## РОЗРОБКА ПРИСАДНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ З КУЛЕВИДНИМ ГРАФІТОМ

М.А. Калін

Кандидат технічних наук, доцент\*

О.І. Бурцева\*

\*Кафедра інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва  
 Українська інженерно-педагогічна академія  
 вул. Університетська 16, м. Харків, 61003

### 1. Вступ

Чавун широко застосовується як конструкційний матеріал, що відрізняється хорошими ливарними властивостями і малим коефіцієнтом лінійного розширення, високою зносостійкістю і оброблюваністю.

Останнім часом в світовій практиці розширюється вживання чавунів із спеціальними властивостями: високоміцного, ковкого, аустенітно-нікелевого, високохромистого і ін. Звідси необхідність вивчення процесів їх зварювання.

У чавунних відливках на різних стадіях обробки виявляються різні дефекти.

Крім того, знижена міцність і висока крихкість чавунів призводять в окремих випадках до поломки в процесі експлуатації виготовлених з них деталей, а це у свою чергу призводить до виходу з ладу, або простою устаткування. Поломки можуть бути також викликані великим навантаженням деталей, що перевищують розрахункові, попаданням в механізми чужорідних тіл, утворенням тріщин через нерівномірний нагрів і так далі.

## 2. Аналіз останніх досліджень

Значною мірою якість зварного шва визначається кінетикою його кристалізації, залежної не лише від швидкості охолодження, стану рідкого металу і його хімічного складу, але і від процесу модифікування. Як модифікатор, при отриманні чавуну з кулевидним графітом, найчастіше застосовують магній. Останнім часом намітилася тенденція використання рідкоземельних елементів. Магнієві чавуни за однакових умов володіють декілька кращою рідкотекучістю, чим сірі чавуни. Завдяки цьому створюються хороші передумови для здобуття щільного, без пор і шлакових включень наплавленого металу. Проте значна схильність магнієвого чавуну до утворення усадкових раковин і рихлості створює додаткові труднощі при його зварюванні.

## 3. Методика проведення досліджень

Чавунні прутки по ГОСТ 2671 для газового зварювання і виготовлення електродів є чавуном евтектичного і заевтектоїдного складу з вуглецевим еквівалентом 4,3–4,8%, отриманому при меншому вмісті вуглецю (3,0–3,5%). Прутки різних діаметрів (6–16 мм) відливали в графітові кокілі. Метал для присадних прутков виплавляли в індукційних печах, що забезпечують високу температуру перегріву (1400–1580 С) з регулюванням витримки металу в рідкому стані не менше 15 хв. Хімічний склад трьох варіантів отриманих прутків наведений у табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад дослідних прутків в %

Варіант прутка	C	Si	Mn	Mg	Mo	Ni	Al	РЗМ	B	Cr
1	3.1	1.2	0.25	0.04	0.04	0.2	0.2	0.5	0.06	0.07
2	3.5	2.4	0.4	0.1	0.15	0.45	0.4	0.3	0.1	0.1
3	3.8	3.8	0.8	0.12	0.7	0.6	0.6	0.03	0.15	0.12

Для порівняння, як присадний матеріал при газовому і електродуговому зварюванні чавуну, використовувалися прутки діаметром 8–10 мм з чавуну марки А або Б по ГОСТ 2671, що виготовляються способом відливання в спеціальні металеві форми.

Як флюс при газовому зварюванні використовували буру технічну по ГОСТ 8429, прожарену при температурі 300–350 С протягом 2–х годин.

Як легуюча і модифікуюча добавка РЗМ в чавунних прутках використовували ітрії.

Перевірку зварювально-технологічних властивостей дослідних складів прутків проводили при газовому (ацетилено-кисневому) і електродуговому зварюванні високоміцного чавуну марки ВЧ-45-5.

Чавунні електроди є литими чавунними прутками, покриті шаром стабілізуючої обмазки, що наноситься методом занурення. Використовували прутки діаметром 12–16 мм. Покриття наносили в один шар з товщиною покриття на сторону 1,5–2 мм. Електроди просушували на повітрі протягом 24 годин, після чого проводили прожарення при температурі 200–250 С.

До складу покриття вводили велику кількість графітизаторів, а кремній введений у вигляді карбіду кремнію для компенсації вигорання кремнію.

Твердість металу шва і наплавленого металу вимірювали на приладі ТК-2, мікротвердість заміряли на приладі ПМТ-3. Проби для хімічного аналізу наплавленого металу відбирали з верхніх шарів наплавлення відповідно до ГОСТ 7122.

Загальний характер мікроструктури зварних швів оцінювали за допомогою оптичного мікроскопа МІМ –8М на поперечних мікрошліфах розміром 15x25x30 мм.

## 4. Результати досліджень

Відомо, що магній є модифікатором, що сприяє утворенню кулевидної форми графіту. Проте, маючи низьку температуру випару і кипіння, в умовах високих температур дугового процесу зварювання він практично повністю вигоряє (коефіцієнт засвоєння складає 0,03). Таким чином, для здобуття кулевидної форми графіту в наплавленому металі, необхідно до складу прутка вводити магній в межах 0,15–0,4 ваг.%. Крім того, нестабільність процесу зварювання (збільшення сили струму, довжини дуги, повторна переплавка металу шва) призводить до місцевого вигорання магнію.

Інакше поведуться при високих температурах рідкоземельні метали. Володіючи малою пружністю дисоціації оксидів і високою температурою кипіння, РЗМ при способах електродугового (а тим більше газового) зварювання вигоряють на порядок менше в порівнянні з магнієм, тобто вони більш живучі в переплавленому металі.

Використання одночасно двох ефективних модифікаторів – магнію і РЗМ дозволило отримати повністю кулевидний графіт при меншому вмісті цих модифікаторів у складі прутків, чим при роздільному їх застосуванні. Це пояснюється тим, що дія модифікаторів, як правило, підсумовується.

Бор вводиться в кількості 0,06–0,15% до складу зварювального прутка з метою надання йому властивостей самофлюсування при електричних способах зварювання чавуну, тобто дозволяє використовувати прутки для зварювання без покриття або флюсу. Властивість самофлюсування зварювальному прутку також надають і активні розкислювачі і дегазатори як РЗМ і алюміній, але у меншій мірі, чим бор.

Алюміній є близьким по активності до РЗМ, тому знаходячись в зварювальній ванні, він інтенсивно з'єднується з киснем, сіркою, фосфором, відносячи інтерметаліди, що утворилися, в шлак, зберігаючи тим самим РЗМ від значного вигорання. Частина алюмінію (до 0,1 ваг.%), що залишилася, йде на утворення центрів графітизації.

Введення до складу металу прутків хрому в кількості 0,07–0,12% зміцнює матрицю чавуну, підвищуючи тим самим його механічні властивості.

Для металографічного дослідження якості наплавленого металу і зон термічного впливу були використані зразки, заварені газовим зварюванням. Дослідженням встановлено:

1. По макроструктурі на обох зразках чітко виявляється наплавлений метал заввишки 9 мм і зони

термовпливу шириною до 10 мм, чіткої лінії сплаву основного і наплавленого металу немає.

2. Структура основного металу в обох випадках складається з перліту, кулевидного графіту середніх розмірів і одиничних вельми дрібних включень цементита. Ферит присутній в невеликій кількості (до 5%). Твердість основного металу складає 217 НВ.

3. Структура наплавленого металу в поверхні шва на глибині до 1,5-2 мм перлітна і невеликими ділянками аустеніту дендритної орієнтації. Далі по висоті шва аж до лінії сплаву в структурі переважає перліт. Твердість в цій зоні в обох випадках складає 229 НВ. Включення фериту і цементиту одиничні. Графіт кулевидний середньої величини, декілька дрібніше, ніж в основному металі.

4. У зоні термічного впливу на обох зразках відмічено значне збільшення кількості фериту в порівнянні з основним металом. Твердість в зоні термовпливу обох зразків складає 167-197 НВ.

5. Малі добавки РЗМ в прутку надають рафінуючу і модифікуючу дію за рахунок утворення додаткових центрів кристалізації графіту.

Як показала практика, використання одного і того ж вихідного металу прутка залежно від способу зварювання і режиму в одному випадку забезпечує наплавлений метал з кулевидним графітом, а в іншому ні. Це відбувається через різний залишковий вміст модифікаторів в наплавленому металі при різних способах зварювання.

Досліджували метал, наплавлений в оброблення глибиною 30 мм на пластинках (250x150x45 мм) з високоміцного магнієвого чавуну. Щоб уникнути витoku рідкого металу торці оброблення закривали азбестом.

Наплавлення проводили різними способами: ацетилено-кисневим полум'ям (пальником з наконечником №6); електричною дугою з графітовим електродом (полярність пряма, сила струму 180-200 А) і плавким чавунним електродом (полярність зворотна, сила струму 350-380 А).

Для забезпечення стабільності горіння дуги литі чавунні прутки покривали стабілізуючим покриттям на основі крейди і рідкого скла. Чавунні литі прутки застосовували діаметром 10-12 мм і завдовжки 330 ± 10 мм.

Хімічний склад прутка, в %: 3-3,5 С; 3-3,6 Si; 0,4-0,7 Mn; 0,3-0,7 Ni; 0,2-0,5 Mo; 0,08-0,12 Cr; 0,005-0,08S; 0,04-0,08 P.

За умовами експерименту до складу прутків вводили в %: 0,05-0,39 Y, або 0,03-0,4 Mg, або 0,03-0,1 Mg і 0,03-0,14 Y одночасно.

Перед зварюванням пластини підігрівали до 500-600 С, після зварювання поміщали в пісок, нагрітий до 400-500 С, і витримували до повного охолодження.

Вміст магнію в прутках і наплавленому металі визначали спектральним, а ітрію – хімічним аналізом. Погрішність складала 5-8%.

Коефіцієнт переходу модифікаторів (табл. 2) визначали шляхом порівняння їх вмісту у вихідному матеріалі і в наплавленні, а дію оцінювали по дисперсності графітних включень в матриці і коефіцієнту форми графіту по ГОСТ 3443.

Дослідженнями встановлено, що при газовому зварюванні прутками, модифікованими магнієм, при збільшенні його вмісту до 0,16% коефіцієнт переходу модифікатора з прутка в наплавлення практично не міняється. Подальше збільшення вмісту магнію в прутку

веде до зниження його переходу в наплавлення, при цьому його гранична кількість складає 0,1-0,12%.

**Таблиця 2**

**Коефіцієнти переходу модифікаторів**

Спосіб зварювання	Роздільне модифікування		Спільне модифікування	
	Y	Mg	Y	Mg
Газове	0,72-0,75	0,3-0,4	0,85-0,90	0,48-0,56
Дугове графітовим електродом	0,48-0,55	0,22-0,32	0,70-0,75	0,38-0,45
Дугове електродом, що плавиться	0,27-0,35	0,12-0,17	0,48-0,53	0,18-0,23

При зварюванні прутками, модифікованими ітрієм, встановлено, що він менше випаровується і вигоряє, чим магній. Коефіцієнт переходу ітрію з прутка в наплавлення постійний і складає 0,72-0,75.

Аналіз результатів спільного введення модифікаторів показав, що комплексне модифікування забезпечує повніший перехід ітрію і магнію з прутка в наплавлений метал в порівнянні з роздільним модифікуванням. Коефіцієнти переходу ітрію і магнію в цьому випадку складають 0,85-0,9 і 0,48-0,56 відповідно в порівнянні з газовою, дугове зварювання графітовим електродом характеризується порівняно жорстким термічним циклом. Нагріваючи при цьому прутки до температури 1500-2000 С викликає підвищений випар і вигорання модифікаторів. Коефіцієнт переходу магнію при зварюванні прутками, що містять 0,03-0,23% магнію складає 0,3. Підвищення вмісту магнію в прутку з 0,23 до 0,4 % призводить до зниження коефіцієнта переходу до 0,25.

При модифікуванні прутков ітрієм, коефіцієнт переходу постійний і складає 0,5.

Комплексне модифікування характеризується вищим переходом ітрію і магнію в наплавлений метал в порівнянні з роздільним модифікуванням. При цьому коефіцієнти переходу ітрію і магнію складають в середньому 0,7 і 0,4 відповідно.

Висока температура при дуговому зварюванні плавким електродом наводить до інтенсивного випару і вигорання елементів, що входять до складу прутка. Тому при модифікуванні магнієм зафіксований найнижчий коефіцієнт переходу, рівний 0,15.

Коефіцієнт переходу ітрію при зварюванні прутками, що містять ітрію, так само невисокий і складає 0,26.

Комплексне модифікування істотно підвищує перехід модифікаторів, особливо ітрію. Коефіцієнт переходу магнію з прутка в наплавлення рівний в середньому 0,2, ітрію – 0,5.

При наплавленні магнійвмісними прутками (незалежно від способу зварювання) із збільшенням вмісту магнію в наплавленому металі від 0,01 до 0,04% точкова форма графіту переходить в змішану, з переважанням компактної форми. З'являються і порівняно крупні сфероїди Граз90, а також Граз40. Подальше збільшення залишкового вмісту магнію в наплавленому металі, починаючи з 0,05%, веде до утворення графіту кулевидної форми Гф12.

Вміст ітрію в наплавленому металі, рівний 0,04 %, призводить до утворення компактного графіту з великою кількістю точкового графіту. Із збільшенням вмісту ітрію до 0,06% утворюється графіт кулевидної і компактної форми, при 0,08% і вище – кулевидний

графіт правильної форми Гф12, розмір графітного сфероїда менший, ніж при модифікуванні чавуну магнієм, і відповідає Граз30.

Комплексне модифікування вже при вмісті в наплавленому металі 0,02-0,03% Mg і 0,05-0,06 Y призводить до утворення кулевидного графіту правильної чіткої форми Гф13. Причому розмір сфероїдів менший, ніж при роздільному модифікуванні, і відповідає Граз25. Необхідно відзначити, що практично весь вільний графіт є сфероїдами, рівномірно розподіленими в матриці основи, що характерний для рівноважних структур.

## Висновки

1. Розроблений склад прутка для газового і електродугового зварювання високоміцного чавуну, що містить нову систему легування і розкислювання – РЗМ - бор.

2. Структура наплавленого металу перлітна з великими ділянками аустеніту дендритної орієнтації. Твердість в цій зоні складає 229НВ. Графіт кулевидний середньої величини, декілька дрібніше, ніж в основному металі.

## Література

1. Асиновская Г.А., Журавецкий Ю.И. Газовая сварка чугуна. Машиностроение. М., 1974. 49 с.
2. Иванов Б.Г., Журавецкий Ю.И., Левченко В.И. Сварка и резка чугуна. М. Машиностроение, 1977. 208 с.
3. Левченко В.И. Состояние и перспективы развития сварки чугуна (обзор). «Сварочное производство», 1988. №2 с 2-4.

*Експериментально досліджені спектри поглинання і розсіяння світла колоїдними частинками деяких металів в різних середовищах. Спостережувані спектри поглинання і розсіяння світла порівнюються з обчисленими по формулах Г.Ми оптики каламутних середовищ*

*Ключові слова: колоїдний розчин, наночастки, оптика каламутних середовищ*

*Експериментально исследованы спектры поглощения и рассеяния света коллоидными частицами некоторых металлов в разных средах. Наблюдаемые спектры поглощения и рассеяния света сравниваются с вычисленными по формулам Г.Ми оптики мутных сред*

*Ключевые слова: коллоидный раствор, наночастицы, оптика мутных сред*

*The spectrums of absorption and dispersion of light by the colloid particles of some metals in different environments are experimentally explored. The looked after spectrums of absorption and dispersion of light are compared to calculated on the formulas of the G.Mu optics of turbid environments*

*Keywords: colloid solution, nanochastytsy, optics of turbid environments*

УДК 535.434

# ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ СВЕТА МАЛЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ

**И.С. Радченко**

Кандидат физико-математических наук, доцент  
Кафедра теоретической и прикладной механики  
Криворожский технический университет  
ул. XXII Партсъезда, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027  
Контактный тел.: (0564) 71-87-31

**А.Ю. Малиновская**

Старший преподаватель  
Кафедра компьютерных систем автоматизированного  
управления электроприводом  
Криворожский металлургический факультет  
Национальная металлургическая академия Украины  
ул. Революционная, 5, г. Кривой Рог, Украина, 50006  
Контактный тел.: 067-591-19-70  
E-mail: mau2004@inbox.ru

## 1. Проблема и ее связь с научными и прикладными задачами

Малые металлические частицы и их системы, состоящие из достаточно большого числа малых частиц,

например, порошки, находят широкое применение в разных областях.

Порошки и агрегаты их, применяют, в частности, в качестве катализаторов химических реакций и электродов в электротехнических устройствах. Их