

УДК 621.791

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВАРКИ ЧУГУНА**

**©Калин Н. А., Изотова Е. А.**

*Українська інженерно-педагогічна академія*

### **Інформація про авторів:**

**Калін Микола Андрійович:** ORCID: 0000-0002-4068-2718; svargof@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Изотова Катерина Олександрівна:** ORCID: 0000-0002-6585-6681; ant-izotov@yandex.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Целью работы явилось повышения качества металла шва при газовой и электродуговой сварке высокопрочного чугуна путем усовершенствования состава прутков марки А.

Эксперимент проводили прутками с добавлением легирующих элементов, содержащих редкоземельные металлы и бор. В качестве легирующей и модифицирующей добавки РЗМ в чугунных прутках использовали иттрий.

Проверку сварочно-технологических свойств опытных составов прутков проводили при газовой и электродуговой сварке высокопрочного чугуна.

Установлено, что комплексное модифицирование существенным образом повышает переход модификаторов, особенно иттрия. Структура наплавленного металла перлитная с небольшими участками аустенита дендритной ориентации. Твердость в этой зоне составляет 229НВ. Графит шаровидный средней величины, несколько мельче, чем в основном металле.

Разработан состав прутка для газовой и электродуговой сварки высокопрочного чугуна, содержащий содержит новую систему легирования и раскисления – РЗМ – бор и обеспечивающий высокое качество металла шва.

**Ключевые слова:** редкоземельные металлы; чугун; сварка; пруток; модифицирование.

**Калін М. А., Изотова К. О.** «Удосконалення матеріалів для зварювання чавуну».

Метою роботи з'явилося підвищення якості металу шва при газовому й електродуговому зварюванні високоміцного чавуну шляхом удосконалення складу прутків марки А.

Експеримент проводили прутками з додаванням легуючих елементів, що містять рідкісноземельні метали й бор. У якості легуючої і модифікуючої добавки РЗМ у чавунних прутках використовували ітрій.

Перевірку зварювально-технологічних властивостей дослідних складів прутків проводили при газовому й електродуговому зварюванні високоміцного чавуну.

Установлено, що комплексне модифікування істотно підвищує перехід модифікаторів, особливо ітрія. Структура наплавленого металу перлітна з невеликими ділянками аустеніту дендритної орієнтації. Твердість у цій зоні становить 229НВ. Графіт кулястий середньої величини, трохи дрібніший, чим в основному металі.

Розроблений склад прутка для газового й електродугового зварювання високоміцного чавуну, що містить нову систему легування й розкислення – РЗМ – бор, що й забезпечує високу якість металу шва.

**Ключові слова:** рідкісноземельні метали; чавун; зварювання; пруток; модифікування.

**Kalin N., Izotova C.** “Improvement of materials for welding of cast-iron”.

The aim of work was upgrading of metal of guy-sutures at the gas and electricarc welding of durable cast-iron by the improvement of composition of bar of brand A.

An experiment was conducted by bar with addition of alloying elements, containing rare-earth metals and coniferous forest. As alloying and modifying addition of P3M in cast-iron bar used a yttrium.

Verification of welding-technological properties of the experienced compositions of bar was conducted at the gas and electricarc welding of durable cast-iron.

It is set that complex retrofitting the transition of modifiers promotes substantial character, especially yttrium. The structure of welding metal is pearlitic with the small areas of austenite of dendritic orientation. Hardness in this area makes 229HB. The spherical rules average, some more shallow, than in a parent metal.

Composition of bar is worked out for the gas and electricarc welding of durable cast-iron, containing contains the new system of alloying and desoxydating - P3M is the coniferous forest and providing high quality of metal of guy-sutures.

**Keywords:** rare-earth metals; cast-iron; welding; bar; retrofitting.

### **1. Постановка проблемы**

В последнее время в мировой практике расширяется применение чугунов со специальными свойствами: высокопрочного, ковкого, аустенитно-никелевого, высокохромистого и др. отсюда необходимость изучения процессов их сварки [1]. Так как химический состав, структура и свойства специальных чугунов резко отличаются, то особенности их сварки необходимо рассмотреть отдельно [2].

В большинстве случаев дефекты в чугунных деталях и отливках можно устранить. При правильном выборе способов устранения дефектов и их тщательном выполнении качество восстановленных деталей, как правило, отвечает требованиям эксплуатации.

### **2. Анализ последних исследований**

В области работ связанных со сваркой чугуна проведены многочисленные исследования, разработаны высокоэффективные способы ручной и механизированной сварки, наплавки чугуна и сварочных материалов улучшенных марок [3, 4].

В различных отраслях промышленности используют одни и те же методы сварки, несколько отличающиеся по применяемым сварочным материалам. Наиболее широкое применение процессы сварки и резки чугуна находят при исправлении дефектов в отливках до и после механической обработки. Исправление дефектов на поверхностях отливок и изделий различного эксплуатационного назначения не наносит ущерба их качеству. В этом случае сварочные процессы рассматривают как составную часть литейной технологии.

Распыленность сварочного производства на многочисленных предприятиях, зачастую не имеющих специализированных сварочных участков, сварочных материалов и квалифицированных кадров, создает условия, при которых не исключена подмена технологического комплекса кустарными решениями с использованием случайных материалов и средств, не обеспечивающих качества и надежности восстановленных чугунных изделий.

## Технологія машинобудування

Широкое применение современных методов сварки позволит расширить номенклатуру исправляемых дефектов и повысить качество изготавливаемых и ремонтируемых деталей.

### 3. Экспериментальная часть

Чугунные прутки по ГОСТ 2671-80 для газовой сварки и изготовления электродов представляют собой чугун эвтектического и заэвтектоидного состава с углеродным эквивалентом 4,3–4,8 %, получаемом при меньшем содержании углерода (3,0-3,5 %).

Прутки различных диаметров (6-16 мм) отливали в графитовые кокилы. Металл для присадочных прутков выплавляли в индукционных печах, обеспечивающих высокую температуру перегрева (1400-1580 °С) с регулировкой выдержки металла в жидком состоянии не менее 15 мин.

Химический состав трех вариантов полученных прутков приведен в таблице 1.

**Таблица 1** – Химический состав опытных прутков в %

Вариант 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 сравнения, в качестве присадочного материала при газовой и электродуговой сварке чугуна, использовались прутки диаметром 8-10 мм из чугуна марки А или Б по ГОСТ 2671-80, изготавливаемые способом отливки в специальные металлические формы.

В качестве флюса при газовой сварке использовалась бура техническая по ГОСТ 8429-77, прокаленная при температуре 300-350 °С в течение 2-х часов.

В качестве легирующей и модифицирующей добавки РЗМ в чугунных прутках использовали иттрий.

Проверку сварочно-технологических свойств опытных составов прутков проводили при газовой (ацетилено-кислородной) и электродуговой сварке высокопрочного чугуна марки ВЧ-45-5.

Чугунные электроды представляют собой литые чугунные прутки, покрытые слоем стабилизирующей обмазки, наносимой методом окунания. В состав покрытия вводили большое количество графитизаторов, а кремний введен в виде карбида кремния для компенсации угара кремния.

Имитацию дефектов производили путем строжки канавок на поверхности чугунных пластин толщиной 30 мм.

Твердость металла шва и наплавленного металла измеряли на приборе ТК-2, микротвердость замеряли на приборе ПМТ-3. Пробы для химического анализа наплавленного металла отбирали из верхних слоев наплавки в соответствии с ГОСТ 7122-81.

Общий характер микроструктуры сварных швов оценивали с помощью оптического микроскопа МИМ–8М на поперечных микрошлифах размером 15x25x30 мм, протравленных в 5 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты.

#### **4. Результаты исследований**

Известно, что магний является модификатором, способствующим образованию шаровидной формы графита. Однако, имея низкую температуру испарения и кипения, в условиях высоких температур дугового процесса сварки он практически полностью выгорает, (коэффициент усвоения составляет 0,03 %).

Графит в этих местах меняет форму с глобулярной на хлопьевидный или пластинчатый, т.е. происходит нарушение идентичности структуры, а следовательно, и механических свойств по сечению сварного соединения.

Иначе ведут себя при высоких температурах редкоземельные металлы. Обладая малой упругостью диссоциации оксидов и высокой температурой кипения, РЗМ при электродуговых (а тем более при газовых) способах сварки выгорают на порядок меньше по сравнению с магнием, т.е. они более живучи в переплавленном металле. Поэтому, для обеспечения структуры чугуна с глобулярным графитом при электродуговых способах в предлагаемый состав введены редкоземельные металлы в количестве 0,03-0,5 %. Находясь в наплавленном металле совместно с магнием, РЗМ обеспечивает глобулярную форму графита.

Бор вводится в количестве 0,06-0,15 % в состав сварочного прутка с целью придания ему свойств самофлюсования при электрических способах сварки чугуна, т.е. позволяет использовать прутки для сварки без покрытия или флюса.

Свойство самофлюсования сварочному прутку также придают и активные раскислители и дегазаторы как РЗМ и алюминий, но в меньшей степени, чем бор.

Алюминий является близким по активности к РЗМ, поэтому, находясь в сварочной ванне, он интенсивно соединяется с кислородом, серой, фосфором, унося образовавшиеся интерметаллиды в шлак, сохраняя тем самым РЗМ от значительного выгорания. Оставшаяся часть алюминия (до 0,1 вес. %) идет на образование центров графитизации.

Введение в состав металла прутков хрома в количестве 0,07-0,12 % упрочняет матрицу чугуна, повышая тем самым его механические свойства.

Для металлографического исследования качества наплавленного металла и зон термического влияния были использованы образцы, заваренные газовой сваркой с применением прутка варианта № 2. и прутка марки А. Исследованием установлено:

1. По макроструктуре на обоих образцах четко проявляется наплавленный металл и зона термовлияния, четкой линии сплавления основного и наплавленного металла не имеется.

2. Структура основного металла в обоих случаях состоит из перлита, шаровидного графита средних размеров и единичных весьма мелких включений цементита. Феррит присутствует в небольшом количестве (до 5 %). Твердость основного металла составляет 217 ед НВ.

3. Структура наплавленного металла у поверхности шва на глубине до 1,5-2 мм перлитная и небольшими участками аустенита дендритной ориентации. Далее по высоте шва вплоть до линии сплавления в структуре преобладает перлит. Твердость в этой зоне в обоих случаях составляет 229 ед. НВ. Включения феррита и цементита единичны. Графит шаровидный средней величины, несколько мельче, чем в основном металле (рис. 1).

4. В зоне термического влияния на обоих образцах отмечается значительное увеличение количества феррита по сравнению с основным металлом. Твердость в зоне термовлияния обоих образцов составляет 167-197 ед. НВ.





**Рис. 1** – Микроструктура металла шва виконаного прутком А (а) и опытным прутком (б) x 450

За счет введения в пруток активнейших раскислителей иттрия и магния достигается полное раскисление и десульфурация наплавленного металла.

Малые добавки РЗМ в прутке оказывают рафинирующее и модифицирующее воздействие за счет образования дополнительных центров кристаллизации графита, что в свою очередь, снижает вероятность образования закалочных структур в зоне сплавления, исключает образование трещин в наплавленном металле и переходной зоне.

Кроме того, введение РЗМ, обладающих большим сродством к кислороду, сере, способствуют очищению границ зерен перлитной матрицы за счет образования оксидов и окисульфидов РЗМ и, как следствие, повышает стойкость наплавленного металла и переходной зоны против образования трещин и пор.

Как показала практика, использование одного и того же исходного металла прутка в зависимости от способа сварки и режима в одном случае обеспечивает наплавленный металл с шаровидным графитом, а в другом нет. Это происходит из за различного остаточного содержания модификаторов в наплавленном металле при разных образах сварки.

Исследовали металл, наплавленный в разделку глубиной 30 мм на пластинах (250x150x45 мм) из высокопрочного магниевого чугуна. Наплавка проводили разными способами: ацетилено-кислородным пламенем; электрической дугой с графитовым электродом и плавящимся чугуном электродом.

Химический состав 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; 0,005-0,08 S; 0,04-0,08 P.

По условиям эксперимента в состав прутков вводили в %: 0,05-0,39 Y либо 0,03-0,4 Mg, либо 0,03-0,1 Mg и 0,03-0,14 Y одновременно.

Содержание магния в прутках и наплавленном металле определяли спектральным, а иттрия – химическим анализом. Погрешность составляла 5-8 %.

Коэффициент перехода модификаторов (табл. 2) определяли путем сравнения их содержимого в исходном материале и в наплавке, а действие оценивали по дисперсности графитных включений в матрице и коэффициенту формы графита по ГОСТ 3443-87.

Таблица 2 – Коэффициенты перехода модификаторов

Способ сварки	Раздельное модифицирование		Общее модифицирование	
	Y	Mg	Y	Mg
Газовая	0,72-0,75	0,3-0,4	0,85-0,90	0,48-0,56
Дуговая графитовым электродом	0,48-0,55	0,22-0,32	0,70-0,75	0,38-0,45
Дуговая плавящимся электродом	0,27-0,35	0,12-0,17	0,48-0,53	0,18-0,23

Исследованиями установлено, что при газовой сварке прутками, модифицированными магнием, при увеличении его содержания до 0,16 % коэффициент перехода модификатора из прутка у наплавку практически не меняется. Дальнейшее увеличение содержания магния в прутке ведет к снижению его перехода у наплавку, при этом его предельное количество составляет 0,1-0,12 %.

При сварке прутками, модифицированными иттрием, установлено, что он меньше испаряется и выгорает, чем магний. Коэффициент перехода иттрия из прутка у наплавку постоянный и составляет 0,72-0,75.

Анализ результатов совместного введения модификаторов показал, что комплексное модифицирование обеспечивает более полный переход иттрия и магния из прутка в наплавленный металл в сравнении с раздельным модифицированием. Коэффициенты перехода иттрия и магния в этом случае составляют 0,85-0,9 и 0,48-0,56 соответственно.

В сравнении с газовой, дуговая сварка графитовым электродом характеризуется сравнительно жестким термическим циклом. Нагревая при этом прутки до температуры 1500-2000 С вызывает повышенное испарение и выгорание модификаторов. Коэффициент перехода магния при сварке прутками, которые содержат 0,03-0,23 % магния, составляет 0,3. Повышение содержания магния в прутке с 0,23 до 0,4 % приводит к снижению коэффициента перехода до 0,25.

При модифицировании прутков иттрием, коэффициент перехода постоянный и составляет 0,5.

Комплексное модифицирование характеризуется более высоким переходом иттрия и магния в наплавленный металл в сравнении с раздельным модифицированием. При этом коэффициенты перехода иттрия и магния составляют в среднем 0,7 и 0,4 соответственно.

Высокая температура при дуговой сварке плавящимся электродом приводит к интенсивному испарению и выгоранию элементов, которые входят в состав прутка. Поэтому при модифицировании магнием зафиксирован наиболее низкий коэффициент перехода, равный 0,15.

Коэффициент перехода иттрия при сварке прутками, которые содержат иттрий, так же невысокий и составляет 0,26.

Комплексное модифицирование существенным образом повышает переход модификаторов, особенно иттрия. Коэффициент перехода магния из прутка у наплавку равный в среднем 0,2, иттрия – 0,5.

При наплавке магниесодержащими прутками (независимо от способа сварки) с увеличением содержания магния в наплавленном металле от 0,01 до 0,04 % точечная форма

**Технологія машинобудування**

---

графита переходит в смешанную, с преобладанием компактной формы. Появляются и сравнительно крупные сфероиды Граз90, а также Граз40. Дальнейшее увеличение остаточного содержания магния в наплавленном металле, начиная с 0,05 %, ведет к образованию графита шаровидной формы Гф12.

Содержание иттрия в наплавленном металле, равное 0,04 %, приводит к образованию компактного графита с небольшим количеством точечного графита. С увеличением содержания иттрия до 0,06 % образовывается графит шаровидной и компактной формы, при 0,08 % и выше – шаровидный графит правильной формы Гф12, размер графитного сфероида меньше, чем при модифицировании чугуна магнием, и отвечает Граз30.

Комплексное модифицирование уже при содержании в наплавленном металле 0,02-0,03 % Mg и 0,05-0,06 Y приводит к образованию шаровидного графита правильной четкой формы Гф13. Причем размер сфероидов меньше, чем при раздельном модифицировании, и отвечает Граз25. Необходимо отметить, что практически весь свободный графит являются сфероидами, равномерно распределенными в матрице основы, что характерно для равновесных структур.

**Выводы**

1. Разработан состав прутка для газовой и электродуговой сварки высокопрочного чугуна, содержащий содержит новую систему легирования и раскисления – РЗМ-бор.
2. Структура наплавленного металла перлитная с небольшими участками аустенита дендритной ориентации. Твердость в этой зоне составляет 229НВ. Графит шаровидный средней величины, несколько мельче, чем в основном металле.

**Список использованных источников:**

1. Сильман Г. И. Термодинамика и термодинамика структурообразования в чугунах и сталях / Г. И. Сильман. – М. : Машиностроение, 2007. — 302 с.
2. Асиновская Г. А. Газовая сварка чугуна / Г. А. Асиновская, Ю. И. Журавицкий. – М. : Машиностроение, 1974. – 49 с.
3. Иванов Б. Г. Сварка и резка чугуна / Б. Г. Иванов, Ю. И. Журавицкий, В. И. Левченков. – М. : Машиностроение, 1977. – 208 с.
4. Левченков В. И. Состояние и перспективы развития сварки чугуна: (обзор) / В. И. Левченков // Сварочное производство. – 1988. – № 2. – С. 2–4.

**References**

1. Silman, G 2007, *Termodinamika i termokinetyka strukturoobrazovaniya v chugunakh i stalyakh*, Mashinostroenie, Moskva.
2. Asinovskaya, G & Zhuravitskiy, Yu 1974, *Gazovaya svarka chuguna*, Mashinostroenie, Moskva.
3. Ivanov, B, Zhuravitskiy, Yu & Levchenkov, V 1977, *Svarka i rezka chuguna*, Mashinostroenie, Moskva.
4. Levchenkov, V 1988, 'Sostoyanie i perspektivy razvitiya svarki chuguna (obzor)', *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 2, pp. 2-4.

Стаття надійшла до редакції 25 листопада 2014 р.