

**ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
МОДИФІКУВАННЯ ГРАФІТИЗОВАНИХ СТАЛЕЙ З МЕТОЮ
ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ**

В. О. Савченко, к. т. н.

Запорізький національний технічний університет

Основними сплавами в сучасному машинобудуванні є сплави на основі заліза – сталі та чавуни. Серед них особливе місце займають графітизовані сталі, найчастіше це заевтектійні сплави з підвищеним вмістом кремнію і з наявністю в структурі включень вільного графіту. Завдяки своєму хімічному складу та структурі вони поєднують у собі позитивні властивості чавуну (високі демпфуючі властивості, термостійкість, окислостійкість і т.ін.) і конструкційних сталей (більш високі, у порівнянні з високоміцними чавунами, границю міцності, пластичність і в'язкість). Основним фактором, що стримує широке використання виливків з графітизованих сталей є необхідність проведення довготривалого та енергоємного графітизуючого відпалу для розкладання структурно вільного цементиту та отримання феритно-перлітної структури з включеннями графіту. Рядом дослідників проводилися спроби скоротити тривалість графітизуючого відпалення за рахунок підвищення вмісту вуглецю до 1,4...1,6% та кремнію до 1,5...2,5%, що призводило до зниження механічних властивостей (міцності, пластичності, в'язкості) [1]. Ці підходи мають суттєві недоліки: обмеженість методів лиття та номенклатури виливків.

У зв'язку з цим в даній роботі зроблена спроба одержати графітизовані сталі без структурно вільного цементиту за рахунок модифікування рідкого металу елементами–графітизаторами. При цьому ставилася задача забезпечити задану структуру сталі (перліт + графіт чи перліт+ферит+графіт) в залежності від товщини стінки виливка та вмісту вуглецю і кремнію. Встановлення хімічного складу сталей та технології їх модифікування, що забезпечують отримання сплавів із заданою структурою, є важливою науково-технічною задачею, яка дозволяє знизити енергетичні та матеріальні витрати у виробництві та поширити області застосування графітизованих сталей.

Дослідні сплави виплавлялися в 60-кілограмовій індукційній печі з основною футеровкою. За базові були обрані сплави з вмістом вуглецю від 0,61 до 1,19% та кремнію від 1,0 до 1,67%. Легування сталі здійснювали присадкою в піч феромарганцю марки ФМн-78 (ГОСТ 4756-70) та феросиліцію марки ФС-65 (ГОСТ 1415-93). Модифікування проводили шляхом присадкування подрібнених феросиліцію та алюмінію марки А99 (ГОСТ 11069-74) в ківш перед заливанням рідкого металу. Одержані сплави мали хімічний склад: 0,61...1,19%С, 1,00...1,67%Si, 0,32...0,37%Mn; 0,12...0,14%Al; 0,008...0,014%S і 0,016...0,025%P.

При виконанні експериментів феросиліцій виконував подвійну роль: легуючого елемента та модифікатора. Основна частина феросиліцію ФС 65 давалася в піч з метою легування сталі, решта – в якості модифікатора давалася в ківш разом з постійною присадкою алюмінію – 0,25% від маси рідкого металу.

При цьому з урахуванням угару та наявності алюмінію в феросиліцію його вміст в сталях складав 0,12...0,17%, що за літературними даними [1-4] є оптимальним. Таким чином здійснювалося подвійне модифікування сталі кремнієм і алюмінієм.

Результати досліджень показали, що в результаті оброблення алюмінієм та феросиліцієм в структурі сталей внаслідок графітуючої дії кремнію та алюмінію в литому стані утворилася графітна фаза. Ефективність запропонованої технології модифікування підтверджується фактом наявності включень графіту навіть у сталях з вмістом вуглецю 0,61%. (рис. 1.а).

В залежності від товщини стінки виливка та вмісту вуглецю і кремнію змінювалися кількість графітної фази V_r , параметр форми графітових включень λ_r та їх кількість n . За результатами кількісної металографії в залежності від хімічного складу та швидкості охолодження виливків в структурах металеві основи литих графітованих сталей виявлялися феритна, перлітна та цементитна фази. При цьому розподіл графітових включень змінювався від ШГ2 (рис. 3.1 б) до ШГ10 (рис. 1 в) за ГОСТ 3443-87 [5], а зі збільшенням вмісту вуглецю та кремнію форма графітових включень змінювалася з кулястої на пластівчасту (рис.1. г).

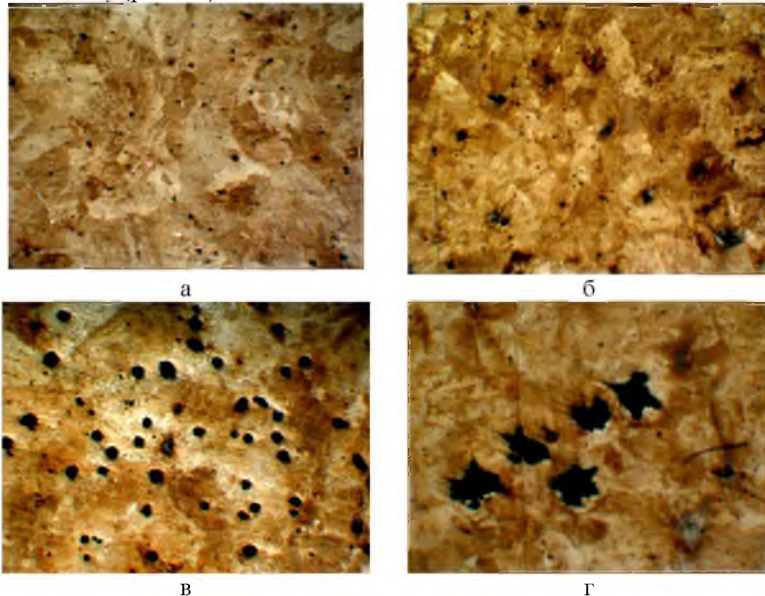


Рис. 1. Графітна фаза в структурі модифікованих ФС-65 графітованих сталей з хімічним складом ($\times 200$): а – 0,61%С, 1,19%Si; б - 0,61%С, 1,62%Si; в – 1,19%С, 1,19%Si; г - 1,19%С, 1,61%Si.

Об'єм графітної фази збільшувався із підвищенням як товщини стінки виливка, так і кількості модифікатору. Зі збільшенням вмісту вуглецю від 0,61

до 1,04% та товщини стінки вилівка з 10 до 50 мм в сплавах спостерігалось збільшення кількості графітної фази та змінювання розмірів кулястих включень, рівномірно розподілених за перерізом зразків. Для сплавів з 1,19%С при товщині стінки 10 мм графітові включення мали кулясту форму і рівномірно розподілялися за площиною шліфа. Зі збільшенням товщини стінки вилівка цих сплавів форма включень графіту змінювалася на несприятливу, майже пластівчасту (див.рис. 1 г), а зі зростанням вмісту кремнію збільшувалися розміри цих включень.

Вплив хімічного складу та товщини стінки вилівка на механічні властивості графітізованих сталей досліджували на зразках без термічного оброблення (табл.1).

Таблиця 1

Механічні властивості графітізованих сталей.

Варіант	Товщина стінки h, мм	Масова частка елементів, %		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	НВ
		C	Si				
1	10	0,81	1,0	735	920	7,0	311
2	10	0,81	1,59	780	980	5,0	321
3	10	1,19	1,06	622	723	3,0	340
4	10	1,19	1,67	430	580	1,1	341
5	50	0,81	1,0	629	876	8,5	290
6	50	0,81	1,59	730	915	6,5	295
7	50	1,19	1,06	534	700	3,0	310
8	50	1,19	1,67	370	470	4,5	269
9	30	1,04	1,16	576	849	5,0	305

Дослідження показали, що зі зміною будь-якого фактору варіювання істотно змінювалися механічні властивості графітізованих сталей. Так, наприклад, за високих швидкостей охолодження (h=10 мм) із збільшенням вмісту вуглецю та кремнію підвищувалися твердість, а міцність та пластичність навпаки знижувалися.

Така дія вказаних елементів пов'язана із наступними причинами:

а) підвищення вмісту вуглецю в сталях спонукає його надлишкове виділення у вигляді вторинного цементиту, що природно підвищує твердість сплаву, а міцність та пластичність зменшує;

б) при легуванні зростаючими присадками кремнію утворюється твердий розчин, який зміцнює матрицю сталі і, як наслідок, підвищує твердість та знижує пластичність;

в) кремній, як графітізуючий елемент, ще під час кристалізації може знижувати в структурі кількість структурно-вільного цементиту та цементиту перліту, тобто підвищувати ступінь графітізації і, відповідно, знижувати твердість, та підвищувати пластичність.

Зменшення швидкості охолодження сприяло деякому підвищенню відносного видовження δ , при цьому показники міцності та твердість знижувалися.

Запропоновані склади сталей навіть в литому стані (без термічного оброблення) за рівнем механічних властивостей перевищують леговані сталі 150СДЛ та 150ХСНЛ після графітізуючого відпалювання, сфероїдизуючого відпалювання та після нормалізації з відпусканням [6]. Це пояснюється, в першу чергу, меншим вмістом вуглецю та оптимальним модифікуванням досліджуваних нами сталей.

Висновки

1. Запропонована методика дозволяє отримати графітізованих сталей в литому стані структуру без структурно-вільного цементиту та з включеннями графіту.
2. Результати досліджень показали, що комплексне модифікування графітізованих сталей складу 0,6...1,2%С, 1,0...1,6%Si феросиліцієм та алюмінієм дозволяє виключити з технологічного циклу довготривале та енергоємне термічне оброблення і достатньо високі показники механічних властивостей в литому стані: $\sigma_b = 470 \dots 980$ МПа, $\delta = 1,1 \dots 8,5\%$, твердість НВ 269...340.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Жураковский В.М., Самелик Б.В., Садчиков В.Я. Формирование оптимальной структуры графитизированной стали // Технология и организация производства. – 1986. – №4. – С.35-36
- 2 Тодоров Р.П., Николов М.В. Структура и свойства отливок из графитизированной стали. М. : Металлургия, 1976. – 168с.
- 3 Бубликов В.Б. Модифицированная заэвтектоидная сталь с шаровидным графитом Процессы литья. - 2002. - № 2. - С. 22-27.
- 4 Остап О.П., Волчок І.П., Колотілкін О.Б., Андрейко І.М., Стадник М.М., Силованок В.П., Слинько Г.І. Структура та опір руйнуванню залізвуглецевих сплавів. Львів: НАН України. Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка, 2001. –272с.
- 5 Савченко В.О. Вплив модифікування на властивості графітізованих сталей Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. научн. трудов. Вып.55. – Дн-ск, ПГАСА, 2010. – С. 118-122.
- 6 Акимов И.В. Повышение физико-механических свойств графитизированных сталей: автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.01 «Материаловедение». – Запорожье, 2004. – 26 с.