

УДК 669.14.017: 539.43

**ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ
ГРАФІТИЗОВАНИХ СТАЛЕЙ****Савченко В.О.***Запорізький національний технічний університет*

Основними елементами, які визначають механічні та службові властивості графітизованих сталей являються вуглець та кремній. Загальновідомо, що підвищення вмісту вуглецю в заевтектоїдних сталях призводить до його надлишкового виділення із аустеніту або у вигляді вторинного цементиту при метастабільній кристалізації, підвищуючи твердість сплаву, або, якщо кристалізація йшла за стабільною схемою, у вигляді графітових включень. У будь-якому випадку збільшення вуглецю погіршує головні механічні властивості графітизованих сталей: показники міцності, пластичності, тріщиностійкості та інші. Л.В. Передернін [1], пояснює негативний вплив вуглецю на міцність і, особливо, пластичність сталей збільшенням розмірів включень графіту та зменшенням їх ступеня глобуляризації. Такі дані підтверджує і А.Е. Чичкова [2], яка показала, що збільшення вуглецю з 0,86 до 1,32% у складі не термообробленої графітизованої сталі різко зменшило ударну в'язкість та підвищило твердість. Згідно багатьох даних [3-5 та ін.] кремній, утворюючи твердий розчин із феритом, призводить до зниження пластичності та ударної в'язкості, але підвищує твердість та міцність графітизованих сталей. Тодоров Р.П. та Ніколов Н.В. [3, 5] показали, що в графітизованій сталі в литому стані, яка містила 1,32%С, збільшення кремнію від 0,9 до 1,4% призвело до зниження на 23% ударної в'язкості та підвищення на 17% твердості. В.М. Жураковським із співавторами [6] показано, що при динамічному, ударно-циклічному та втомному руйнуванні графітизованих сталей зародження тріщин відбувається переважно в міждендритних об'ємах, які збагачені кремнієм, що негативно впливало на властивості сталей.

Грунтуючись на результатах аналізу літературних даних про вплив різних модифікаторів на процес графітизації залізвуглецевих сплавів можна припустити, що найбільш ефективними модифікаторами, що сприяють графітизації сталей та поліпшенню форми включень графіту, є алюміній та феросиліцій. Проте сумісний вплив цих модифікаторів на структуроутворення та властивості графітизованих сталей є ще недостатньо дослідженим. У зв'язку з цим для дослідження впливу модифікування в якості модифікатору сталей було обрано суміш подрібненого феросиліцію марки ФС-65 (ГОСТ 1415-93) та стружки алюмінію марки А99 (ГОСТ 11069-74). Дослідні плавки проводилися в 60-кілограмовій індукційній печі з основним футеруванням, рідкий метал заливали в сухі піщано-глинисті ливарні форми, в яких отримували східчасті вилівки з різною товщиною, що забезпечувало зміну швидкості охолодження. Для отримання заданого вмісту вуглецю сталь 20 науглецьовували чавуном Л5, який крім того, змінював попередній вміст кремнію. Для отримання заданого загального вмісту кремнію для кожної плавки окремо розраховувалася кількість ФС - 65. Загальний вміст алюмінію був у межах 0,13...0,14%.

В залежності від товщини стінки виливка та вмісту вуглецю і кремнію в структурі графітованих сталей виявлялися феритна, перлітна та цементитна фази (табл. 1). В результаті модифікування алюмінієм та феросиліцієм співвідношення між фазами змінювалися та з'являлися включення. При цьому форма графітових включень змінювалася від кулястої до пластівчастої (рис. 1), а розподіл - від ШГ2 до ШГ10 за ГОСТ 3443-87, що пояснюється графітуючою дією кремнію та її підсиленням з боку алюмінію у складі модифікатору.

Таблиця 1 –
Вплив кількості модифікатору та товщини стінки на структуру графітованих сталей.

Варіант сталі	Вміст С, %	Вміст Si, %	Товщина стінки виливка h, мм	Фазовий склад металевої основи, об'ємн. %			Параметри графітної фази		
				Фе-рит	Перліт	Це-ментит	V _Г , %	λ _Г	n, мм ⁻²
1	0,61	1,19	10	14	85	н.в.	1	1,0	228
2			50	18	80	н.в.	2	1,1	160
3		1,62	10	12	87	н.в.	1	1,0	170
4	50		13	84	н.в.	3	1,2	120	
5	0,81	1,23	10	н.в.	99	н.в.	1	1,1	140
6			50	н.в.	98	н.в.	2	1,2	90
7		1,59	10	н.в.	99	н.в.	1	1,0	135
8	50		н.в.	96	н.в.	3	1,1	110	
9	1,04	1,20	10	н.в.	95	4	1	1,1	110
10			50	н.в.	97	1	2	1,2	95
11		1,60	10	н.в.	93	4	3	1,0	120
12	50		5	85	н.в.	10	1,0	140	
13	1,19	1,21	10	4	85	н.в.	11	1,0	142
14			50	6	80	н.в.	14	1,3	60
15		1,61	10	5	83	н.в.	12	1,2	95
16	50		7	78	н.в.	15	1,4	55	

Примітка: н.в. - не виявлено.

Присадка модифікатору, вміст кремнію та товщина стінки виливків впливали як на твердість, так і на міцність сталей. Так для доєвтектної сталі з 0,61%С підвищення вмісту кремнію призводило до підвищення твердості та міцності в межах 10...20% внаслідок твердорозчинного зміцнення феритної фази кремнієм (рис. 2 а; 3 а), при цьому збільшення товщини стінки сприяло зменшенню обох показників: твердості з 308...312НВ до 265...270НВ та межі міцності з 750...770МПа до 690...730МПа. Зниження міцності та твердості зі зменшенням швидкості охолодження можна пояснити деяким збільшенням кількості феритної фази й укрупненням зерен фериту та перліту на відміну від структури сталі з більшою швидкістю охолодження.

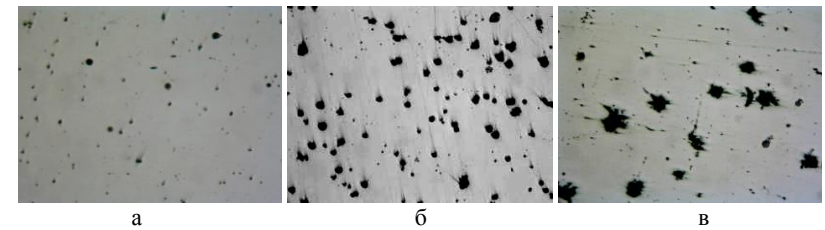


Рисунок 1 - Графітна фаза в структурі модифікованих ФС-65 графітізованих сталей ($\times 200$): а – варіант 3 з табл.1; б – варіант 10 з табл.1; в – варіант 16 з табл.1.

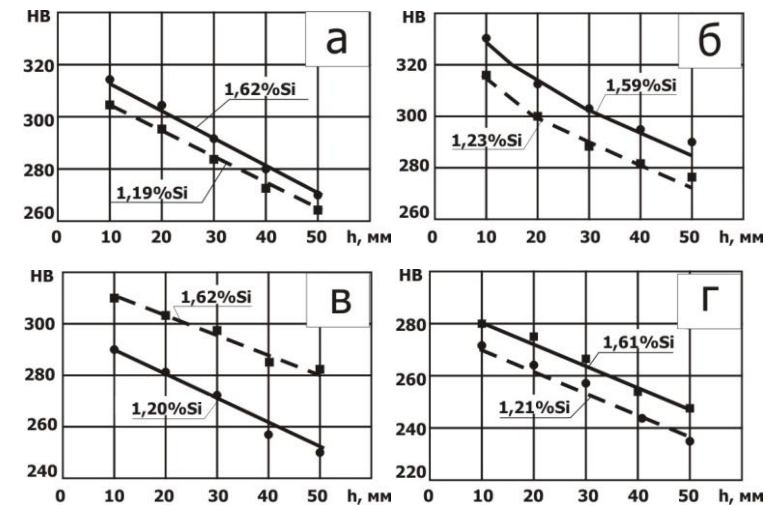


Рисунок 2 – Залежність твердості від товщини стінки виливка і кількості загального вмісту кремнію: а – 0,61%С; б – 0,81%С; в – 1,04%С; г – 1,19%С

Характер впливу зміни вмісту кремнію на властивості евтектоїдної сталі (0,81%С) був аналогічним, як і для сталі з 0,61%С. Проте, відсутність феритної та збільшення перлітної фази в цих сплавах (див. табл. 1, варіанти 5-8) сприяло підвищенню як їх твердості (див. рис. 2 б), так і границі міцності (див. рис. 3 б).

Твердість та границя міцності заевтектоїдної сталі з 1,04%С визначалися наявністю карбідної, феритної та графітної фаз, кількість яких, в свою чергу, залежала від присадки кремнієвого модифікатора, вмісту кремнію та товщини стінки виливка. Так, при загальному вмісті кремнію до 1,20% і товщині стінки 10мм, розташований по межах зерен вторинний цементит значно підвищував твердість та знижував границю міцності по відношенню до сталі з 0,82%С (див. рис. 2 в; 3 в).

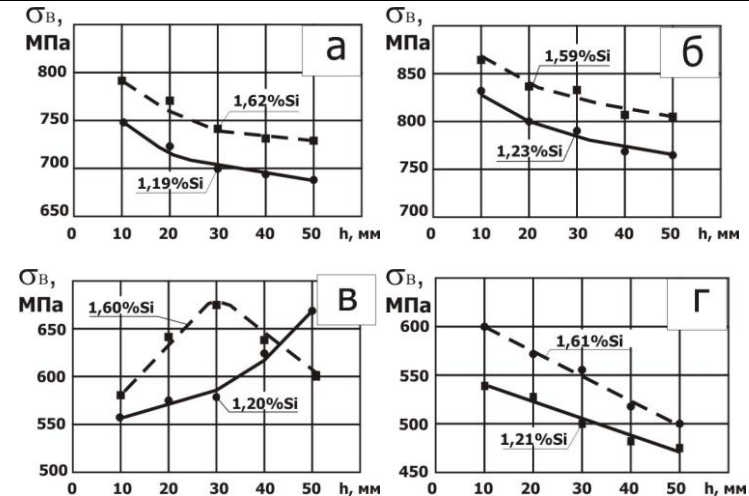


Рисунок 3 – Залежність міцності від товщини стінки виливка і загального вмісту кремнію: а – 0,61%С; б – 0,81%С; в – 1,04%С; г – 1,20%С

Із зменшенням швидкості охолодження ($h = 50$ мм) кількість знеміцнюючої карбідної фази зменшувалась, натомість збільшувалась об'ємна частка графіту (див. табл. 1 варіанти 9-10), що привело до певного зниження твердості та підвищення границі міцності. Збільшення кремнієвого модифікатора до загального вмісту кремнію 1,60% при товщині стінки 10 мм несуттєво підвищило твердість та границю міцності за рахунок легування кремнієм металевої основи. Слід зазначити, що при високій швидкості охолодження даної сталі вміст модифікатора майже не впливав на графітизацію та кількість цементної фази (див. табл. 1 варіанти 9 і 11). Проте, графітизуюча дія кремнію проявилася зі зменшенням швидкості охолодження: при $h = 50$ мм в структурі сталей виявлялася феритна фаза, наявність якої значно зменшувала твердість (див. рис. 2 в), а залежність границі міцності для сталі з 1,04%С та 1,62%Si характеризувалася максимумом при $h=30$ мм (див. рис. 3 в), при цьому структура даного варіанту сталі була представлена компактними графітовими включеннями в перлітній металевій основі. Зменшення швидкості охолодження ($h=50$ мм) знеміцнювало сплав, перш за все, за рахунок утворення ділянок феритної фази та додаткових включень графіту в структурі (див. табл. 1 варіант 12; рис. 3 в).

В структурах заевтектійних сталей з 1,19%С при будь яких вмістах кремнію та швидкостях охолодження поряд із перлітом виявлялася феритна фаза металевої основи. Збільшення як вмісту кремнію, так і товщини стінок виливків підвищували кількість феритної та графітної фаз в структурі (див. табл. 1 варіанти 13-16), і форму графітових включень (див. рис.1.в), наявність яких

сприяло зниженню твердості та міцності графітізованих сталей (див. рис. 2 г ; рис. 3 г).

Доданий в ківш феросиліцій разом з алюмінієм як модифікатори, при литті виливків із графітізованої сталі, достатньо активно впливали на процесі структуроутворення, а саме на їх графітізацію. Найбільш активна дія модифікатору проявлялася у високовуглецевих сплавах (1,04...1,19%С) та при уповільненій швидкості охолодження ($h=30...50$ мм). Такий вплив кремнію та алюмінію можна пояснити тим, що в процесі кристалізації вони були активними графітізаторами і призодили до утворення локальних точок високої концентрації хімічно не зв'язаних атомів вуглецю замість цементиту в заевтектоїдних сталях, що і призвело до збільшення в їх структурі кількості графітної та феритної фаз й зменшення твердості та міцності таких сталей.

Аналіз отриманих даних показує, що в результаті модифікування кремнієм та алюмінієм можна отримати литу графітізовану сталь ферито-перлитної структури з компактними включеннями графіту і високим рівнем механічних властивостей. Так для отримання однакового високого рівня механічних властивостей при товщині стінки вилівка 30 мм вміст вуглецю повинен становити не більше 1,0%, а кремнію не менше 1,2%, зі збільшенням товщини стінки вилівка до 50 мм необхідно зменшити вміст вуглецю до 0,8% та підвищити вміст кремнію до 1,6%.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Передернин Л.В. Исследование свойств и процессов получения литой графитизированной стали: Автореф. дисс. канд. техн. наук / Сибирский металлургический институт им. С. Орджоникидзе, Новокузнецк, 1971. – 27 с.
2. Чичкова А.Е. Влияние состава и термической обработки на механические свойства графитизированной стали с шаровидным графитом // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1989. – №12. – С.100-104.
3. Тодоров Р.П. Графитизированные железоуглеродистые сплавы. –М.: Металлургия, 1981.– 320 с.
4. Богачев И.Н., Давыдов Г.С., Рожкова С.Б. Графитизация и термическая обработка белого чугуна.– М.: Машиностроение, 1964.– 147 с.
5. Тодоров Р.П., Николов М.В. Структура и свойства отливок из графитизированной стали. – М.: Металлургия, 1976.-168с.
6. Жураковский В.М., Самелик Б.В., Садчиков В.Я., Такидзе Т.Р., Примеров С.Н. Формирование оптимальной структуры графитизированной стали // Технология и организация производства. – 1986. – №4. – С.35-36.