



*The influence of the casting wall thickness and contents of elements-grayers on degree of graying and mechanical characteristics of grayed steels was investigated.*

В. А. САВЧЕНКО, И. П. ВОЛЧОК, ЗНТУ

УДК 621.785.5

## СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ГРАФИТИЗИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Графитизированные стали представляют собой заэвтектоидные железоуглеродистые сплавы, в которых определенная часть углерода находится в виде графитовых включений. Благодаря более низкому, по сравнению с чугунами, содержанию углерода (1,0–1,8%) и соответственно графита этим сплавам присущи, с одной стороны, положительные качества чугунов (низкая чувствительность к концентраторам напряжений, высокая демпфирующая способность, невысокая стоимость и др.), с другой – более высокие по сравнению с чугунами механические свойства.

Процессы графитизации железоуглеродистых сплавов зависят от содержания элементов-графитизаторов и толщины стенки отливки (скорости охлаждения). Для графитизированных сталей, как и для чугунов, основными элементами-графитизаторами являются углерод и кремний. Литературные данные о влиянии скорости охлаждения на процессы графитизации графитизированных сталей противоречивы. Как известно, у чугунов с увеличением толщины отливки повышается степень графитизации [1]. В работе Р.П. Тодорова и М.В. Николова [2] показано, что тонкостенные отливки графитизируются в большей степени, чем толстостенные, что является специфической осо-

бенностью рассматриваемых сплавов. По данным [3], микроструктура стали, модифицированной ферросилицием ФС75, состояла из перлита с включениями графита глобулярной формы диаметром 3–15 мкм, при этом с увеличением толщины сечения отливки и содержания кремния увеличивалось количество и форма включений графита.

Поэтому в данной работе было изучено влияние содержания элементов-графитизаторов – углерода и кремния, а также скорости охлаждения на процессы структурообразования графитизированных сталей. Для этого были проведены опытные плавки в 45-килограммовой индукционной печи. Содержание углерода варьировалось от 0,51 до 1,12%, кремния – от 0,89 до 1,84%, марганца – от 0,32 до 0,37% (см. таблицу); толщина стенки отливки изменялась от 10 до 50 мм. В качестве шихтовых материалов использовали чушковый литейный чугун марки Л5 (ГОСТ 4832-80), отходы литья из стали 20 (ГОСТ 2787-86). Аллюминий для раскисления, а также ферромарганец марки ФМн78 (ГОСТ 4756-70) и ферросилиций марки ФС65 (ГОСТ 19658-81) вводили в ковш перед заливкой металла в сухие песчаноглинистые формы при температуре 1500 °С.

Химический состав и механические свойства (литое состояние) опытных плавов

Номер плавки	Содержание элементов, мас. доля %			Механические свойства	
	C	Si	Mn	$\sigma_b$	$\delta, \%$
1	0,51	1,29	0,37	716	4,4
5	0,68	0,89	0,33	928	4,6
6	0,68	1,35	0,32	870	2,4
7	0,84	1,00	0,36	779	1,8
8	0,81	1,43	0,37	794	1,6
9	0,81	1,97	0,35	835	2,3
4	1,04	1,67	0,35	380	1,4
3	1,05	1,16	0,35	520	0,8
10	1,12	1,84	0,33	499	1,6

Металлографический анализ полученных сплавов в литом состоянии показал, что присадки ферросилиция в ковш непосредственно перед

заливкой послужили графитизирующим модификатором, который способствовал процессу образования свободного графита в сталях в литом

состоянии. Это согласуется с результатами работы А.А. Жукова [4], который показал, что степень графитизации структуры в чугунах в значительной мере определяется содержанием кремния. Согласно [4], кремний повышает активность и коэффициент диффузии углерода, стимулирует выделение графитной фазы. Графитизирующее действие кремния значительно усиливается, когда его вводят в составе модификатора. В результате модифицирования в расплаве образуются сильно пересыщенные кремнием микрообъемы, в которых облегчается зарождение центров графитизации. Результаты наших исследований показали, что с увеличением содержания углерода и кремния в сплаве отмечалось повышение количества свободного углерода и изменение формы графитовых включений от единичных мелких до равномерно распределенных глобулярных и хлопьевидных. В зависимости от содержания углерода и кремния изменялась также структура металлической основы графитизированных сталей. При содержании углерода 1,05–1,12% и кремния 1,16% сталь имела структуру металлической основы, состоящую из цементита, перлита и феррита, при 1,67% кремния – перлитно-ферритную, а при 1,84% кремния – феррито-перлитную.

На рис. 1 показаны кривые  $HV=f(Si)$  при различном содержании углерода. Наличие минимумов на кривых объясняется, на наш взгляд, двумя процессами, происходящими в стали, при ее легировании возрастающими концентрациями кремния: а) снижением в структуре количества структурно свободного цементита и цементита перлита, т.е. повышением степени графитизации и соответственно снижением твердости; б) твердорастворным упрочнением стали и, как следствие, повышением ее твердости.

та перлита, т.е. повышением степени графитизации и соответственно снижением твердости; б) твердорастворным упрочнением стали и, как следствие, повышением ее твердости.

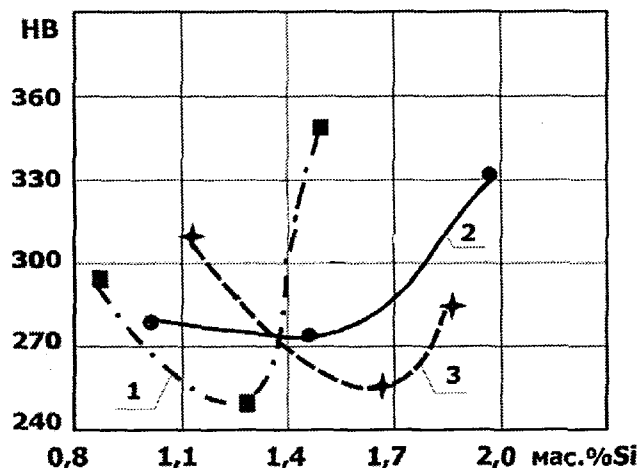


Рис. 1. Влияние кремния на твердость графитизированной стали: 1 – 0,51–0,68% С; 2 – 0,81–0,84% С; 3 – 1,04–1,12% С

В зависимости от толщины сечения и содержания углерода и кремния изменялись распределение и дисперсность включений графита. В пробах толщиной 10 мм при содержании 1,04% углерода и 1,67% кремния выделялся мелкодисперсный шаровидный графит. С увеличением толщины стенки отливки увеличивалось количество и размер включений графита (рис. 2, а). Эта же тенденция сохранялась и в пробах с повышенным содержанием кремния (1,84%), но в них выделялся хлопьевидный графит (рис. 2, б).

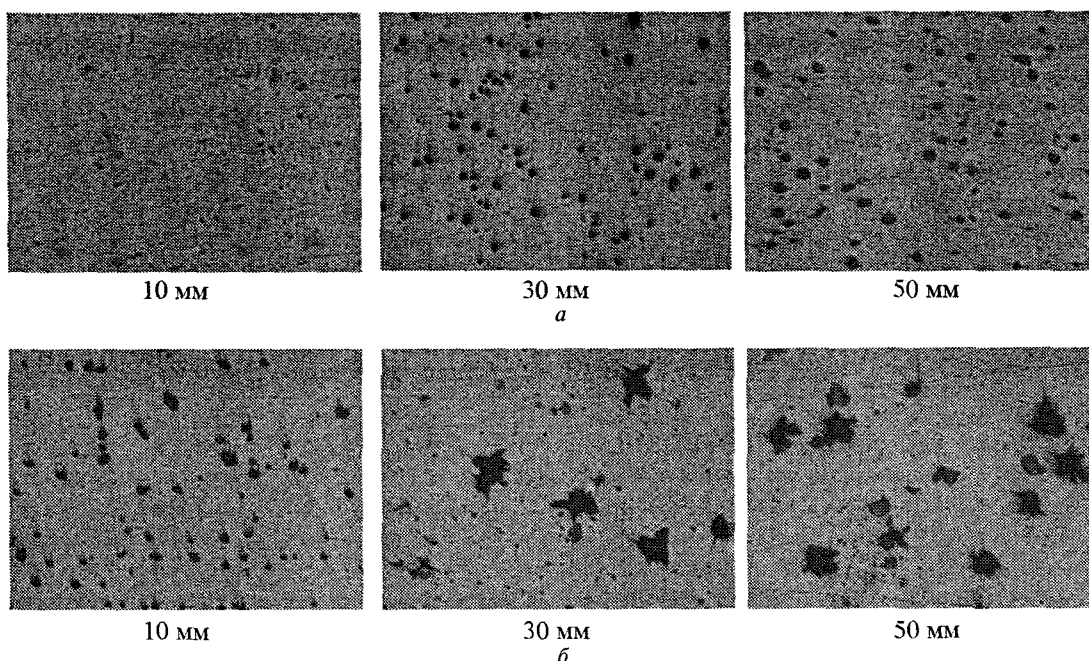


Рис. 2. Включения графита в зависимости от толщины стенки: а – 1,04% С, 1,67% Si; б – 1,12% С, 1,84% Si. x200

В зависимости от содержания углерода и кремния в графитизированных сталях изменялись и их механические свойства: предел прочности — от 380 до 930 МПа; относительное удлинение — от 0,8 до 4,6% (см. таблицу).

В целом результаты исследований показали, что графитизированные стали являются перспективным конструкционным материалом с благоприятным сочетанием структуры и физико-механических свойств. Важным аспектом этого конструкционного материала является то, что в результате ковшевого модифицирования и правильного подбора содержания углерода и кремния уже в литом состоянии можно получить включения графита от вермикулярной до хлопьевидной фор-

мы и показатели механических свойств на уровне лучших марок высокопрочного чугуна.

#### Литература

1. Витусевич В.Т., Билецкий А.К., Науменко М.И. Структура чугуна при различных способах модифицирующей обработки и повышенных скоростях затвердевания // Процессы литья. 2003. №1. С. 40–45.
2. Тодоров Р.П., Николов М.Л. Структура и свойства отливок из графитизированной стали. М.: Metallurgia, 1976.
3. Бубликов В.Б., Козак Д.С., Нестерук С.П., Зеленая Л.А. Об особенностях кристаллизации модифицированной графитизированной стали // Процессы литья. 2004. №2. С. 41–46.
4. Жуков А.А. Новое о графитизированной стали // Литейное производство. 1993. №3.