



The refinement of the structure of chromium-vanadium cast irons, as well as of other alloys, appreciably increases their operation characteristics. One of the methods of favorable structure receiving is high freezing rate of alloy, what is shown in the work.

С. С. ГУРИН, Ю. А. САУНИН, Белорусский национальный технический университет

УДК 621.74

ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ХРОМОВАНАДИЕВЫХ БЕЛЫХ ЧУГУНОВ

В хромованадиевых белых чугунах возможно формирование структур с различными карбидными фазами: от легированного цементита до комплексных карбидов типа M_7C_3 и MC (где M — атомы металлов, C — атом углерода). Характер структуры чугуна зависит как от его химического состава, так и от термокинетических условий формирования структуры, в первую очередь от условий процесса кристаллизации чугуна. Как показано в работе [1], структурообразование в комплексно-легированных белых чугунах обычно имеет ступенчатый характер, причем в процессе кристаллизации формируется структура с метастабильными карбидами, наименее обогащенными легирующими элементами. Особенно это характерно для процессов ускоренной кристаллизации чугунов, например, в тонкостенных отливках или при литье в кокиль. При дальнейшем термическом воздействии на закристаллизовавшийся чугун происходит частичное преобразование его структуры с одним или даже несколькими карбидными превращениями. В работах [1–3] показано, что с использованием этих процессов можно проводить значительные изменения в структуре, обеспечивая приближение ее к композиционному виду и значительно повышая механические и эксплуатационные свойства чугунов.

В настоящей работе выполнен анализ одной из основных стадий процесса формирования структуры чугуна — его кристаллизации в различных термокинетических условиях. Экспериментальное исследование проведено с использованием методики термического анализа и включает в себя построение кривых охлаждения чугуна и дальнейшее исследование этих данных для построения и анализа термокинетической диаграммы кристаллизации чугуна выбранного химического состава. Параллельно осуществляли металлографический анализ образцов, вырезанных из разных зон отливок (т. е. охлажденных с разной скоростью), что позволило увязать различные области на термокинетической диаграмме кристаллизации чугуна с его фазовым составом и структурой.

Термокинетическое исследование выполняли на массивных отливках сечением 150×150 мм и высотой 300 мм. Схема установки термопар ТПП в форме показана на рис. 1. Измерения проводили по зонам, расположенным на высоте 200 мм от основания отливки и находящимся на разных расстояниях от поверхности отливки: зона 1 — 75 мм (т. е. по оси формы), зона 2 — 38 мм, зона 3 — 21 мм, зона 4 — 4 мм. Естественно, что максимальная скорость охлаждения соответствовала зоне 4, а минимальная — зоне 1.

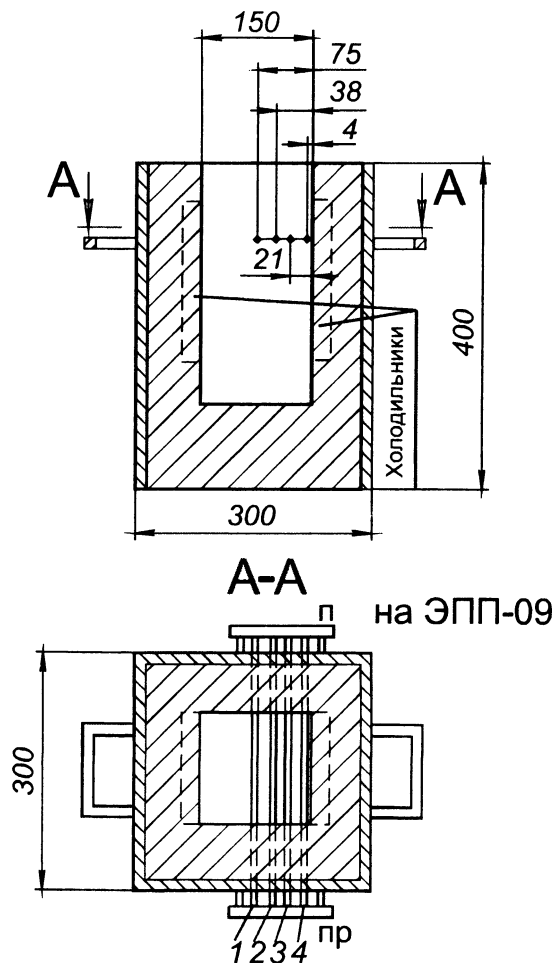


Рис. 1. Литейная форма для проведения термического анализа со схемой установки термопар

С целью обеспечения достаточно большого спектра скоростей охлаждения использовали три вида литейных форм: холодную провяленную форму; форму, подогретую до 200 °С; форму с установленными в ней боковыми

плитами-холодильниками (на рис. 1 они показаны пунктиром). Химические составы чугунов, залитых в эти формы (табл. 1), несколько различались, хотя и были выплавлены на одной шихте.

Таблица 1. Химические составы чугунов

Вид литейной формы	Содержание элементов, мас. %							
	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	P	S
"Горячая" форма (200°С)	3,18	0,82	1,45	7,7	6,39	0,93	0,03	0,04
"Холодная" форма (20°С)	3,12	0,74	1,58	7,85	6,52	0,89	0,03	0,05
Форма с холодильником	3,24	0,79	1,54	7,68	6,73	0,85	0,03	0,04

На рис. 2 приведена схема кривой охлаждения исследованных чугунов, на которой выделены пять участков. Перегибы на кривой соответствуют критическим температурам. Граница участков 1 и 2 соответствует началу процесса кристаллизации чугуна. Как показали результаты металлографических исследований, этот процесс начинается с образования избыточной (первичной) карбидной фазы (MC или M_7C_3). Границе участков 2 и 3 соответствует температура начала кристаллизации двойной карбидной эвтектики $MC+M_7C_3$. Участок 4 чаще всего имеет вид температурной остановки (или очень близок к ней) и его границы характеризуют критические точки начала и окончания кристаллизации тройной эвтектики $A+MC+M_7C_3$.

Действительные кривые охлаждения исследуемого чугуна по четырем зонам каждой отливки показаны на рис. 3. По углу наклона начального участка кривых охлаждения проведена оценка скоростей охлаждения для каждой зоны всех трех отливок. Значения этих скоростей охлаждения приведены в табл. 2.

На рис. 3 все перечисленные участки кривых охлаждения хорошо видны при сравнительно небольших скоростях охлаждения (до 12–15 °С/мин). При более интенсивном охлаждении (19 °С/мин и более) некоторые участки на кривых охлаждения начинают вырождаться или сливаются друг с другом, что свидетельствует об одновременной кристаллизации фаз, соответствующей этим участкам. При очень высокой скорости охлаждения (около 60 °С/мин в форме с холодильником) кристаллизация чугуна происходит с рекристаллизацией.

По критическим точкам, определенным на кривых охлаждения, построена термокинетическая диаграмма кристаллизации исследуемого чугуна (рис. 4). Границы фазовых областей проведены по указанным экспериментальным точкам. Линия равновесного ликвидуса t_L и

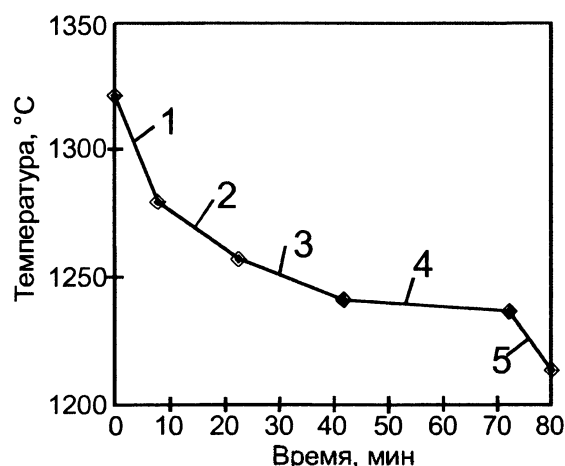


Рис. 2. Схема кривой охлаждения с нумерацией зон: 1 – охлаждение расплава; 2 – кристаллизация избыточной фазы (карбида MC или M_7C_3); 3 – кристаллизация двойной карбидной эвтектики $MC+M_7C_3$; 4 – кристаллизация тройной эвтектики $A+MC+M_7C_3$; 5 – охлаждение закристаллизованного чугуна

линии эвтектических равновесий $t_{\text{ж}}$ (с двойной карбидной эвтектикой) и t_3 (с тройной эвтектикой) проведены на диаграмме в виде асимптот к соответствующим C -образным кривым. Они хорошо соответствуют данным [2]. Фазовый состав, характерный для каждой области, определен с помощью металлографического анализа. Наиболее характерные микроструктуры чугунов, охлажденных с разными скоростями, приведены на рис. 5.

Из термокинетической диаграммы и микроструктуры видно, что по мере увеличения переохлаждения меняется характер избыточной карбидной фазы: вместо первичного карбида MC начинает кристаллизоваться карбид M_7C_3 . Кинетической границей изменения является скорость охлаждения около 15 °С/мин.

Морфологически такое изменение в структуре чугуна является неблагоприятным, так как ухудшает композиционный характер ее построения, но в значительной мере этот недостаток компенсируется резким измельчением

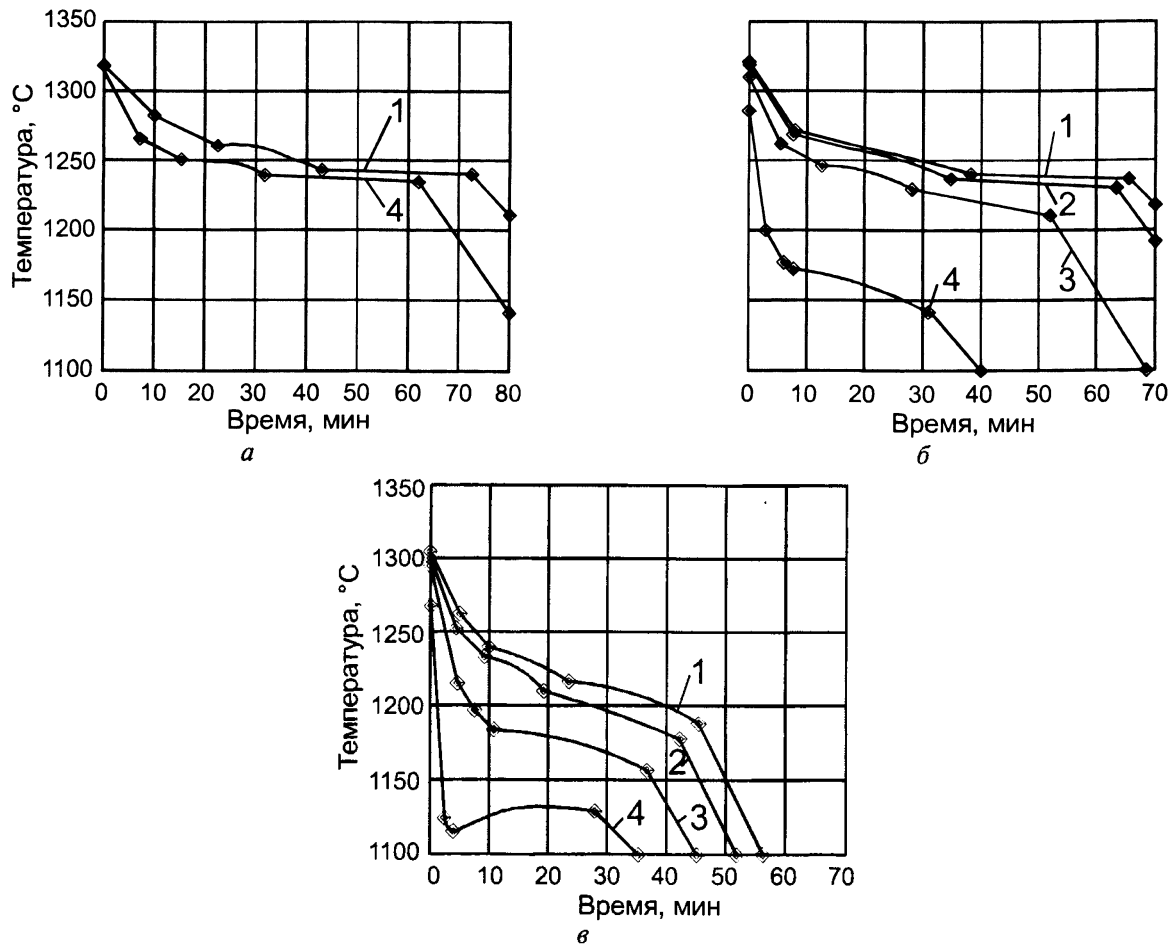


Рис. 3. Кривые охлаждения сплавов в процессе кристаллизации. Номера кривых охлаждения соответствуют номерам термопар на рис. 1: *a* – "горячая" форма (200 °C); *b* – "холодная" форма (20 °C); *v* – форма с холодильником

Таблица 2. Скорости охлаждения чугунов по зонам отливок (по начальным участкам охлаждения)

Вид литейной формы	Скорость охлаждения чугуна, °C/мин, по зонам отливок			
	1	2	3	4
"Горячая" форма (200 °C)	4	–	–	7,5
"Холодная" форма (20 °C)	6	6,5	9,6	31
Форма с холодильником	10,7	12	19	61

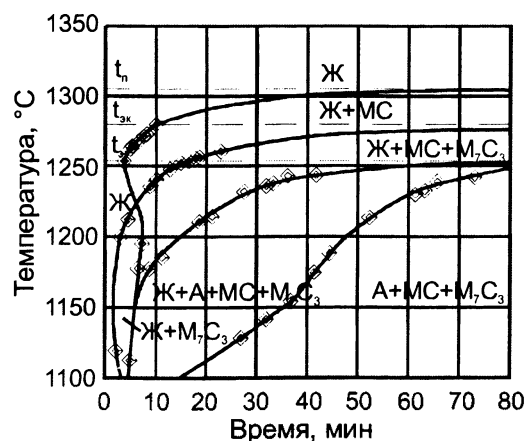
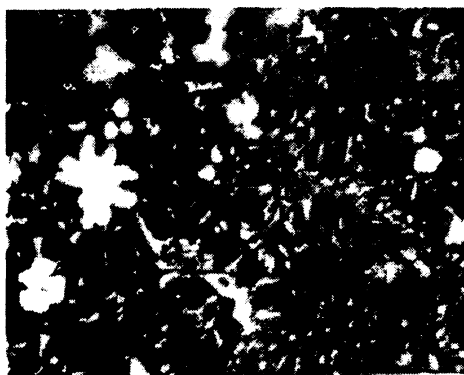
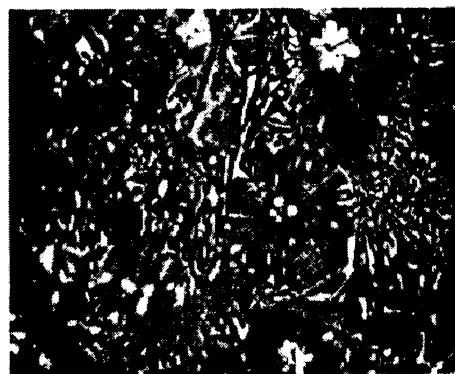


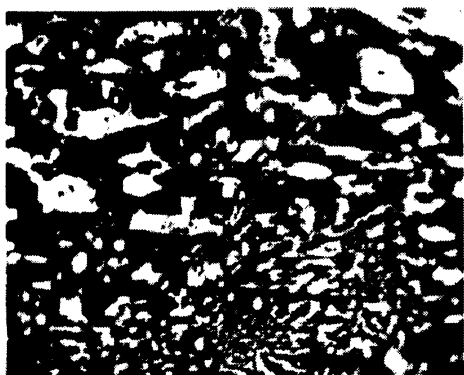
Рис. 4. Термокинетическая диаграмма кристаллизации хромованадиевого белого чугуна



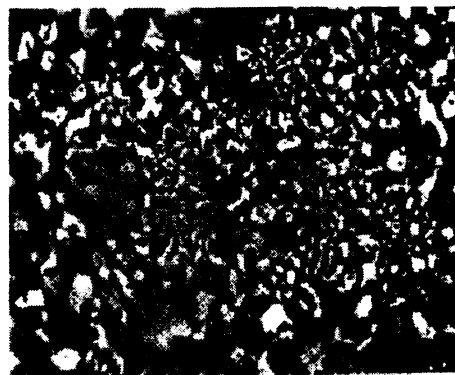
a



б



в



г

Рис. 5. Микроструктуры хромованадиевых белых чугунов, охлажденных с разной скоростью, °C/мин: *a* – ~5; *б* – ~10; *в* – ~30; *г* – ~60. х360

общей структуры чугуна. Существенный положительный эффект может быть обеспечен дополнительной термической обработкой чугуна с такой измельченной структурой. Этот эффект заключается в возможности карбидного превращения $M_7C_3 > MC + A$ с восстановлением композиционного характера структуры и полностью соответствует правилу Уманского и подтвержден в работе [1].

Литература

1. Сильман Г. И. Система Fe – C – Cr и переход

от нее к системам Fe – C и Fe – C – Cr – Si. Термодинамический и термокинетический анализ. Расчет, построение и использование диаграмм. Брянск: Изд-во БГИТА, 1999.

2. Сильман Г. И. Синтез легированных Fe – C-сплавов с композиционным упрочнением на основе геометрической термодинамики: Дис. ... д-р техн. наук. М., 1987.

3. Сильман Г. И. Анализ возможности карбидных и карбидно-графитных превращений с карбидом M_7C_3 в легированных Fe – C-сплавах // Материаловедение и производство: Межвузов. сб. науч. тр. / Под ред. Г. И. Сильмана. Брянск: Изд-во БГИТА, 2001, Вып. 2. С. 7–16.