



ОСОБЕННОСТИ ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ТИПА 20ХГС, ЛЕГИРОВАННОГО ФОСФОРОМ

Ю. М. КУСКОВ, канд. техн. наук, И. И. РЯБЦЕВ, Л. К. ДОРОШЕНКО, инженеры, В. Г. ВАСИЛЬЕВ, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Методом дифференциального термического анализа исследованы процессы плавления и кристаллизации наплавленного металла типа 20ХГС, легированного 0,1...2,4 % фосфора. Установлено, что в наплавленном металле этого типа фосфидные эвтектики, опасные с точки зрения склонности к горячим трещинам, появляются при содержании фосфора более 1 %.

Ключевые слова: наплавленный металл, легирование фосфором, фосфидные эвтектики, кристаллизация наплавленного металла, дифференциальный термический анализ

В большинстве случаев фосфор считается нежелательной примесью в стали. При кристаллизации стальных слитков обнаружена внутрикристаллическая ликвация фосфора, приводящая к снижению пластичности и ударной вязкости, особенно при пониженных температурах. Фосфор является одним из элементов, ответственных за отпускную хрупкость стали [1]. Аналогичным образом он влияет и на свойства металла сварных швов [2]. По этой причине его содержание в сталях и в металле сварных швов обычно ограничивают 0,03 %.

Однако существуют стали и чугуны, в которых фосфор применяется в качестве легирующего элемента. Согласно данным работы [3], фосфор при содержании до 0,6 % упрочняет сталь. Наряду с углеродом и молибденом он является одним из наибольших упрочнителей стали в нормализованном состоянии.

Массовая доля фосфора 1 % и более благоприятно влияет на износостойкость и антифрикционные свойства сплавов на основе железа [4, 5]. При этом фосфиды железа и некоторых легирующих элементов при трении металла по металлу выполняют роль твердой смазки [6]. Положительно воздействует фосфор и на жидкотекучесть стали. Как следует из статьи [7], фосфор как поверхностно-активное вещество способствует уменьшению поверхностного натяжения жидкого железа, что приводит к его полному растеканию по твердой подложке.

Поскольку фосфор положительно влияет на антифрикционные свойства и жидкотекучесть стали, его использование в качестве легирующего элемента в некоторых наплавочных материалах может быть перспективным, например, в порошковых или сплошных проволоках, обеспечивающих получение наплавленного металла типа сталей 18ХГС и 30ХГСА. Данные проволоки широко применяются в различных отраслях промышленности для восстановления и упрочнения деталей, работающих в условиях трения металла по металлу [8].

Применению фосфора как легирующего элемента в наплавочных материалах может препятствовать образование легкоплавких фосфидных эвтектик, которые повышают склонность сталей к горячим трещинам при сварке и наплавке.

С учетом возможного отрицательного влияния фосфидных эвтектик на склонность наплавленного металла к горячим трещинам были исследованы процессы плавления и кристаллизации образцов наплавленного металла типа стали 20ХГС с различным содержанием фосфора (табл. 1).

Процессы плавления и кристаллизации опытных образцов наплавленного металла изучали методом дифференциального термического анализа (ДТА) на установке ВДТА-8М. Образцы для исследований вырезали из 4–6-го слоя металла, наплавленного порошковыми проволоками, в шихте которых содержалось различное количество фосфора в виде феррофосфора. В работе [9] показано, что с помощью метода ДТА можно зафиксировать даже небольшие изменения в фазовом составе материала, например, наличие или отсутствие эвтектик.

Нагрев и охлаждение образцов наплавленного металла производили в гелии при давлении 0,05 МПа со скоростью 80 °С/мин в тигле из оксида алюминия.

В случае использования метода ДТА значения температуры начала и конца плавления и кристаллизации исследуемых материалов определяют по кривым их нагрева и охлаждения с помощью гра-

Таблица 1. Химический состав и твердость исследуемых образцов наплавленного металла

Номер образца сплава	Массовая доля элементов в наплавленном металле, %					Твердость наплавленного металла, <i>HV</i>
	C	Mn	Si	Cr	P	
I	0,22	1,15	0,88	1,10	—	220
II	0,23	1,13	0,93	1,20	0,11	229
III	0,23	1,23	0,98	1,15	0,31	229
IV	0,22	1,20	0,90	1,25	0,57	321
V	0,24	1,14	0,96	1,23	1,00	320
VI	0,23	1,08	0,90	1,18	1,28	341
VII	0,21	1,20	1,00	1,27	1,98	363
VIII	0,22	1,18	0,92	1,21	2,38	413

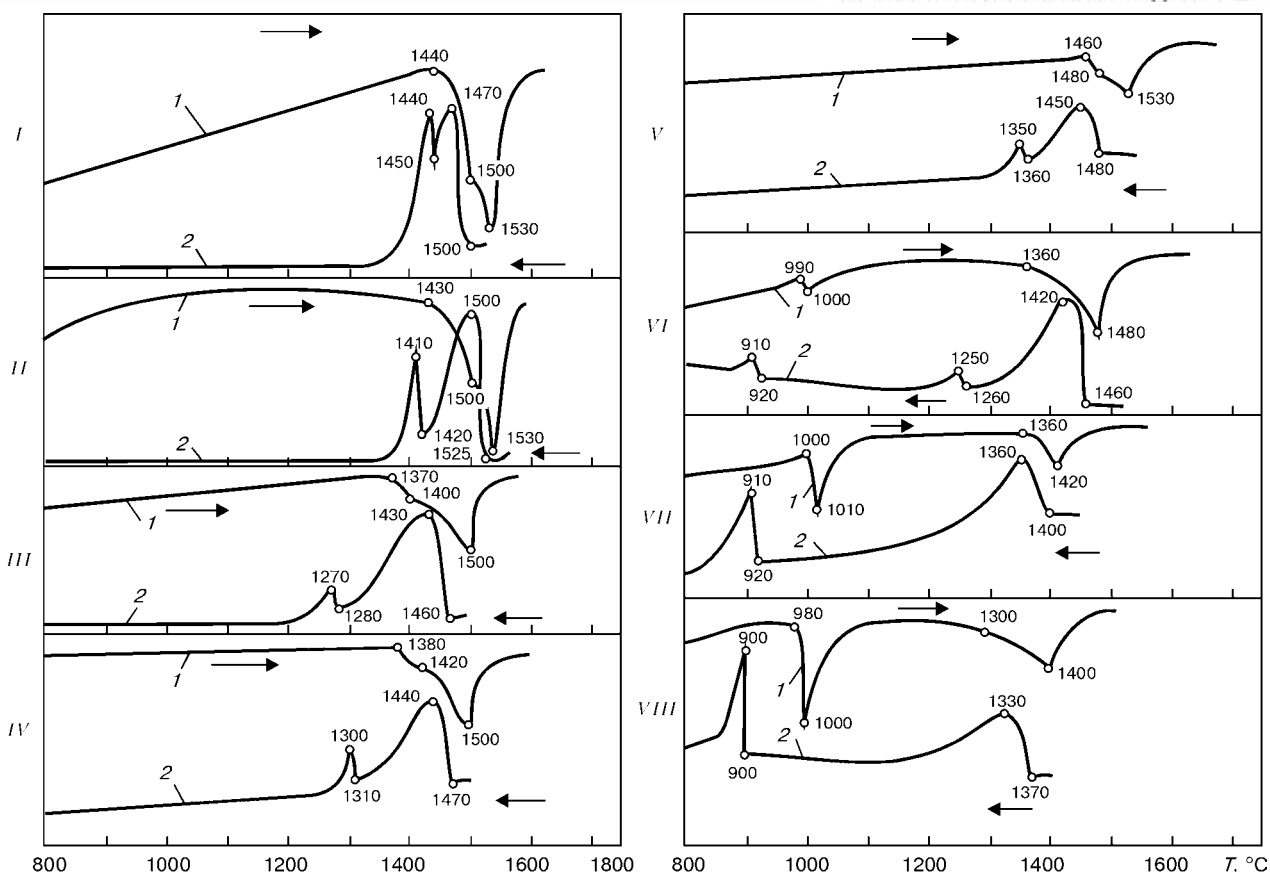


Рис. 1. Дифференциальные термические кривые нагрева (1) и охлаждения (2) образцов из стали 20ХГС с различным содержанием фосфора, %: I – без фосфора; II – 0,11; III – 0,31; IV – 0,57; V – 1,0; VI – 1,28; VII – 1,98; VIII – 2,38

дуировочного графика плавления и кристаллизации эталонного образца в тех же условиях. В качестве эталона в экспериментах использовали образец из чистого вольфрама. Масса исследуемых образцов и эталона равнялась примерно $(1 \pm 0,1)$ г.

Стадиям фазовых превращений, плавления и кристаллизации сплава соответствуют отклонения от прямого хода кривых нагрева или охлаждения, свидетельствующие о протекании эндо- или экзотермических процессов. Степень этих отклонений зависит от химического состава исследуемого материала.

На рис. 1 приведены кривые нагрева и охлаждения образцов опытных составов наплавленного металла, а в табл. 2 указаны температуры их плавления и кристаллизации. Согласно методу ДТА температура начала плавления определяется по кривой нагрева, а температура начала кристаллизации – по кривой охлаждения.

Как показали эксперименты (рис. 1, образцы I... V, кривые 1), до содержания фосфора, равного примерно 1,0 %, в наплавленном металле типа стали 20ХГС на кривых нагрева в высокотемпературной области фиксируются два перегиба. Анализ диаграмм состояния сталей этого класса [10–12] позволил объяснить природу происходящих превращений. Первые перегибы на кривых нагрева образцов (образец I, кривая 1, 1440... 1500 °С; образец II, кривая 2, 1430... 1500 °С; образец III, кривая 1, 1370... 1400 °С; образец IV, кривая 1, 1380... 1420 °С; образец V, кривая 1, 1460... 1480 °С) связаны с началом плавления твердого раствора и вероятным

протеканием перитектической реакции. Второй перегиб (при более высоких температурах) свидетельствует о плавлении оставшегося твердого раствора.

При большем содержании фосфора (рис. 1, образцы VI... VIII, кривые 1) на кривых нагрева сначала отмечаются перегибы, которые соответствуют плавлению фосfidной эвтектики при 980... 1000 °С, а затем в условиях более высокой температуры плавится матрица сплава. При таком содержании фосфора изменяется характер плавления матрицы сплава (кривые плавления имеют только один перегиб). Следует отметить, что с повышением содержания фосфора возрастает ко-

Таблица 2. Температуры плавления и кристаллизации опытных сплавов

Номер образца сплава	Температура плавления и кристаллизации, °С			
	Матрица		Эвтектика	
	Плавление	Кристаллизация	Плавление	Кристаллизация
I	1440	1500	Эвтектика не зафиксирована	
II	1430	1525	То же	
III	1370	1460	»	»
IV	1380	1470	»	»
V	1460	1480	»	»
VI	1360	1460	990	920
VII	1360	1400	1000	920
VIII	1300	1370	980	900

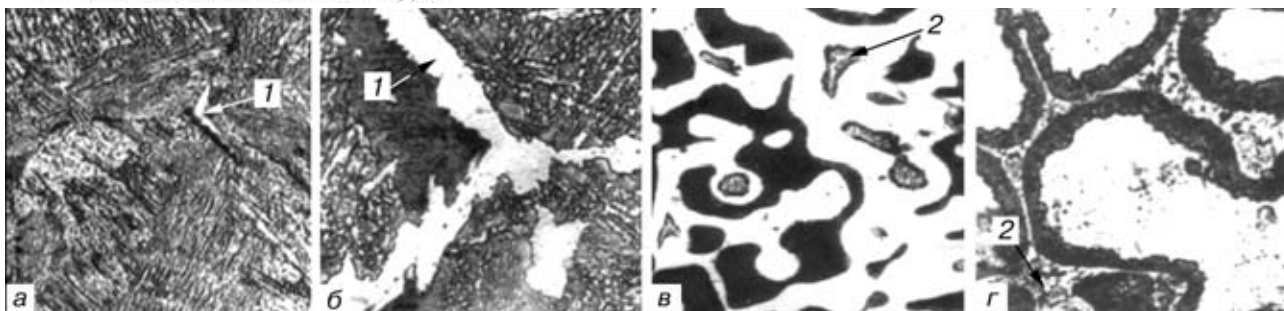


Рис. 2. Микроструктура (X500) стали 20ХГС с различным содержанием фосфора, %: а — без фосфора; б — 0,11; в — 1,28; г — 1,98; 1 — феррит; 2 — фосфидная эвтектика. Травление электролитическое в 20%-м растворе хромовой кислоты

личество фосфидной эвтектики, о чем свидетельствует увеличение пиков на кривых нагрева, соответствующих плавлению фосфидной эвтектики.

На кривых охлаждения стали с относительно невысоким содержанием фосфора первый (высокотемпературный) пик соответствует началу кристаллизации твердого раствора, а второй — перитектической реакции, которая согласно работе [10] протекает практически при постоянном, но различных для каждого из исследуемых материалов, значениях температуры (рис. 1, образцы I...V, кривые 2). Для этих сталей кристаллизация начинается с образования α-твердого раствора. В результате перитектической реакции образуется α-фаза.

При содержании фосфора 1,98 и 2,38 % на кривых охлаждения в высокотемпературной области зафиксирован один пик (рис. 1, образцы VII, VIII, кривые 2), что свидетельствует об отсутствии в стали фосфора перитектического превращения. Кристаллизация матрицы этих сталей происходит сразу с образованием γ-фазы.

Из данных табл. 2 можно сделать вывод о том, что с повышенным содержанием фосфора значения температуры начала плавления и кристаллизации стали 20ХГС имеют тенденцию к понижению.

Проведено металлографическое исследование образцов стали 20ХГС с различным содержанием фосфора. Наплавленный металл типа стали 20ХГС без фосфора имеет бейнитную структуру с небольшим количеством феррита (рис. 2, а). Введение фосфора в качестве элемента-ферритизатора увеличивает количество ферритной фазы (рис. 2, б). Дальнейшее повышение содержания фосфора приводит к изменению соотношения между этими фазами, но участков фосфидной эвтектики в структуре этих сталей не обнаружено.

Появление фосфидной эвтектики зафиксировано при массовой доле фосфора 1,28 % (рис. 2, в). Эти данные подтверждают результаты ДТА: на кривой нагрева образца этой стали было зафиксировано первое появление пика, соответствующего плавлению фосфидной эвтектики (рис. 1, образец VI, кривые 1, 2). При содержании фос-

фора около 2,0% и более в структуре стали 20ХГС образуется сплошная сетка фосфидной эвтектики, окаймляющей зерна матрицы сплава (рис. 2, г).

Таким образом, в процессе исследований, выполненных с помощью метода ДТА, установлено, что в наплавленном металле типа 20ХГС опасные с точки зрения склонности к горячим трещинам фосфидные эвтектики появляются при содержании фосфора более 1 %. Этот факт должен учитываться при разработке наплавочных материалов, предназначенных для восстановления и упрочнения деталей, которые работают в условиях трения металла по металлу.

1. Мучник С. В. Химия и технология фосфорсодержащих сплавов. Фосфорсодержащие сплавы // Химия и технология фосфидов и фосфорсодержащих сплавов. — Киев: Ин-т проблем материаловедения, 1979. — С. 15–20.
2. Влияние фосфора на структуру и свойства металла швов при сварке низколегированных сталей / А. А. Алексеев, И. Р. Явдошин, В. Г. Войткевич, Ю. Д. Морозов // Автомат. сварка. — 1989. — № 4. — С. 7–10.
3. Spretnak J.W. Phosphorus in metallurgy. Phosphorus and its compounds // Technology, biological functions and application. — 1961. — Vol. 2. — P. 1823–1855.
4. Качко М. О., Марковский Е. А., Ильченко В. Д. Антифрикційні сплави заліза з фазами твердого мастила // Металознавство та обробка металів. — 1998. — № 3. — С. 17–21.
5. Влияние состава и структуры антифрикционного сплава железа на его износостойкость / Е. А. Марковский, В. Д. Ильченко, Л. И. Бутенко и др. // Процессы литья. — 1999. — № 2. — С. 60–64.
6. Бакфарт Ф. Г., Дашел С. Г. Новое о смазочных материалах // Сб. докл. Междунар. конф. по смазочным материалам (Вашингтон, 1964). — М.: Химия, 1967. — 651 с.
7. Самсонов Г. В., Панасюк А. Д., Боровикова М. С. Влияние фосфора на адгезию жидких металлов к тугоплавким соединениям // Получение, свойства и применение фосфидов: Сб. науч. тр. — Киев: Наук. думка, 1977. — С. 63–66.
8. Рябцев И. А., Кодратьев И. А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Экотехнология, 1999. — 62 с.
9. Уэлдландт У. Термические методы анализа. — М.: Мир, 1978. — 526 с.
10. Гуляев А. П. Металловедение. — М.: Металлургия, 1977. — 645 с.
11. Гудремон Э. Специальные стали. — М.: Металлургия, 1960. — 1638 с.
12. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. — М.: Металлургия, 1962. — 1488 с.

Processes of melting and solidification of deposited metal of the steel 20KhGS type alloyed with 0.1...2.4 % phosphorus are studied by the differential thermal analysis method. It has been established that phosphide eutectics, dangerous from the standpoint of hot cracking susceptibility, may appear in this type of the deposited metal at a phosphorus content of more than 1 %.

Поступила в редакцию 19.11.2001