

Рябцев И.И.

Институт электросварки им. Е. О. Патона Национальной академии наук Украины. Украина, г. Киев

СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА 35В9ХЗСФ, ЛЕГИРОВАННОГО ФОСФОРОМ

Анотація

Досліджено вплив фосфору на властивості наплавленого металу типу інструментальної сталі 35В9ХЗСФ. Встановлено, що фосфор при вмісті більш 0,5% підвищує зносостійкість наплавленого металу при терті металу по металу при високих температурах. При цьому теплостійкість та термостійкість наплавленого металу залишається на достатньо високому рівні.

Abstract

Influence of phosphorus on properties of surfaced metal of instrumental steel 35В9ХЗСФ is explored. It is set that phosphorus at maintenance more than 0,5% promotes wearproofness of surfaced metal at friction of metal on a metal at high temperatures. Thus the heatproofness and heat-resistance of surfaced metal of 35В9ХЗСФ remains at high enough level.

В работах [1–3] было установлено, что фосфор увеличивает износостойкость и снижает коэффициент трения скольжения низколегированных наплавочных материалов, которые используются для наплавки деталей, работающих в условиях трения металла по металлу при комнатных температурах. В низколегированном наплавленном металле может растворяться до 1% фосфора и свободных фосфидов в виде пограничных фосфидных эвтектик, которые могут служить основной причиной образования трещин, в структуре наплавленного металла практически нет. При этом допустимо наличие в структуре небольшого количества фосфидов глобулярной формы, способствующих увеличению износостойкости наплавленного металла [4].

Учитывая этот опыт, была поставлена задача исследовать влияние фосфора на свойства и структуру металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Нп-35В9ХЗСФ. Эта порошковая проволока применяется, в основном, для восста-

новления и упрочнения инструментов для горячего деформирования металлов и сплавов [5, 6].

Для проведения исследований были изготовлены 4 опытных порошковых проволоки Ø 2 мм. Расчетное содержание фосфора в наплавленном металле изменялось в пределах 0...1,5%. Опытными проволоками под флюсом Ан-26 в шесть слоев были наплавлены пластины из стали Ст3. Режим наплавки: $I = 250...270$ А, $U = 24...26$ В, $V_n = 28$ м/ч. Химический состав и твердость наплавленного металла приведены в табл. 1.

Из наплавленных пластин были изготовлены образцы для исследования теплостойкости (размеры 25x15x20 (LxBxH) мм), износостойкости при трении металла по металлу при повышенных температурах (размеры 40x10x17 мм) и термической стойкости (размеры 40x40x30 мм) наплавленного металла. При этом образцы из пластин вырезались так, чтобы толщина наплавленного слоя у всех типов образцов была ≥ 8 мм.

Под теплостойкостью понимают способность стали сохранять при нагреве рабочих кромок инструмента структуру и свойства, в первую очередь твердость, необходимые для деформирования металла. При снижении твердости развивается интенсивное течение металла рабочих кромок и изменяется их форма. Ю.А. Геллер [7] считает, что главным свойством, определяющим износостойкость инструментальных сталей при повышенных температурах, является именно теплостойкость.

Таблица 1

Химический состав и твердость металла, наплавленного опытными порошковыми проволоками

Марка порошковой проволоки	№№ образца	Массовая доля элементов, %							Твердость наплавленного металла, HRC
		C	Mn	Si	Cr	W	V	P	
ПП-Нп-35В9ХЗСФ	1	0,33	1,08	0,63	2,56	9,17	0,36	0,029	45...48
	2	0,35	0,96	0,75	2,31	8,93	0,52	0,47	43...45
	3	0,30	0,98	0,73	2,85	8,97	0,47	1,02	45...47
	4	0,27	1,02	0,81	2,43	9,21	0,42	1,39	43...45

Теплостойкость обычно характеризуется температурой отпуска, при которой твердость стали не опускается ниже HRC 40 [7]. Результаты определения теплостойкости наплавленного металла 35В9ХЗСФ показывают, что фосфор практически не понизил его теплостойкость (рис. 1). У всех четырех составов твердость HRC 40 сохраняется до температуры отпуска 650°C.

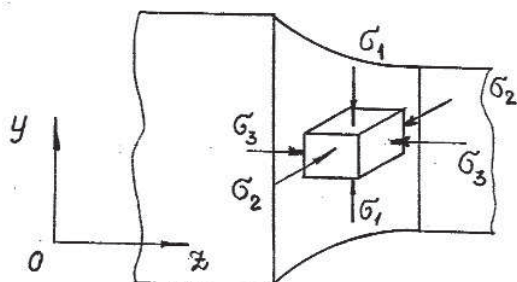


Рис. 1. Теплостойкость наплавленного металла 35В9Х3ГСФ с различным содержанием фосфора: 1 – 0,029% фосфора; 2 – 0,47% фосфора; 3 – 1,02% фосфора; 4 – 1,39% фосфора

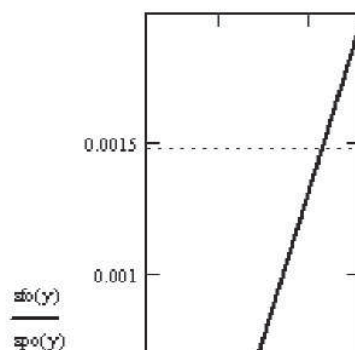


Рис. 2. Износ образцов, наплавленных порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3ГСФ с различным содержанием фосфора.

Исследования износостойкости при повышенных температурах и термической стойкости образцов производили на установке для испытаний различных свойств наплавленного металла [8].

Износостойкость при повышенных температурах определяли методом трения металла по металлу по схеме «вал(кольцо)-плоскость». В процессе испытаний образец наплавленной поверхностью, имеющей в плане размеры 10x40 мм, прижимается к истирающему кольцу-контртелу, насаженному на вал. Кольцо из стали 45 в ходе испытаний нагревали газокислородным пламенем до температуры 950...980°C и поддерживали на этом уровне, благодаря строго определенному расходу ацетилена и кислорода. Наиболее близко эта методика имитирует условия работы прокатных валков, хотя в процессе прокатки инструмент (прокатные валки) и деформируемый материал находятся в движении и между ними наблюдается лишь небольшое проскальзывание.

Продолжительность испытания одного образца 1 ч при нагрузке 17,5 кг; скорость вращения кольца-контртела – 30 об/мин. Испытывались минимум три образца каждого типа наплавленного металла. Результаты испытаний в виде зависимости потери массы наплавленных образцов от содержания фосфора в наплавленном металле приведены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, фосфор положительно влияет на износостойкость наплавленного металла 35В9Х3ГСФ при содержании более 0,5%. С увеличением содержания фосфора до 1,5% износостойкость образцов возросла примерно вдвое.

Термическая стойкость (разгаростойкость, сопротивление термической усталости) является одним из важнейших эксплуатационных показателей материалов, предназначенных для восстанов-

ления и упрочнения инструментов для горячего деформирования металлов. Обычно термостойкость характеризуют количеством циклов нагрев-охлаждение до появления первых трещин или достижения определенной степени растрескивания.

Как было ранее установлено [4], фосфор при содержании более 1% может образовывать избыточные фазы в виде фосфидов и пограничных фосфидных эвтектик, которые могли понизить термическую стойкость наплавленного металла, поэтому на эту характеристику следовало обратить особое внимание.

Была принята следующая методика проведения испытаний: нагрев наплавленной поверхности образца (размер в плане 40x40 мм) газокислородным пламенем до 800°C, охлаждение нагретой поверхности струей воды до 60°C. Циклы нагрев-охлаждение повторяют до появления видимой невооруженным глазом сетки трещин термической усталости. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты испытаний термостойкости наплавленного металла

Наплавленный металл	№№ образца	Масс. доля P, %	Кол-во циклов нагрев-охлаждение до появления сетки разгара
35В9Х3ГСФ	1	0,03	116
	2	0,47	100
	3	1,02	100
	4	1,39	82

Как видно из результатов испытаний, легирование наплавленного металла 0,47% фосфора понижает термостойкость, однако с учетом точности используемой методики такое понижение нельзя признать существенным. Дальнейшее увеличение содержания фосфора примерно до 1,0% практически не сказывается на этой характеристике. И только при содержании около 1,5% наблюдается снижение термической стойкости наплавленного металла.

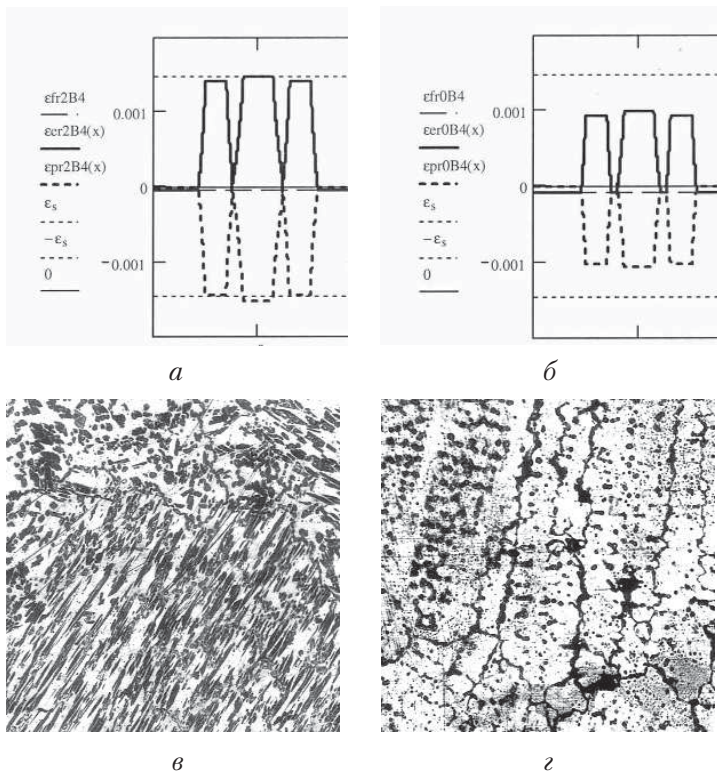


Рис. 3. Микроструктура наплавленного металла 35B9X3CF:

a – без фосфора; *б* – 0,47% фосфора;
в – 1,02% фосфора; *г* – 1,39% фосфора $\times 200$.

Травление электролитическое в хромовой кислоте

Было проведено исследование микроструктуры наплавленного металла (см. табл. 1). Структура наплавленного металла 35B9X3CF без фосфора – мартенсит с микротвердостью $HV_{0,5} = 4730$ МПа, остаточный аустенит, имеющий микротвердость $HV_{0,5} = 3620$ МПа, и включения карбидов (рис. 3, а).

Наплавленный металл 35B9X3CF, содержащий 0,47% Р, имеет аналогичную структуру (рис. 3, б).

Микротвердость мартенсита $HV_{0,5} = 4730$ МПа, остаточного аустенита – $HV_{0,5} = 3860$ МПа.

При увеличении содержания фосфора до 1,02% в наплавленном металле 35B9X3CF сохраняется структура, состоящая из мартенсита и остаточного аустенита. Микротвердость структурных составляющих также не изменяется. В отдельных участках структуры отмечено появление фосфидов округлой формы (рис. 3, в).

При содержании 1,39% фосфора наплавленный металл 35B9X3CF имеет ячеистую структуру (рис. 3, г, образец № 4). В структуре есть включения карбидов и фосфидов. Отмечено также появление микротрещин.

С использованием метода микрорентгеноспектрального анализа было исследовано распределение основных легирующих элементов и, в первую очередь, фосфора в структуре всех четырех образцов наплавленного металла (см. табл. 1).

Исследования выполнены к.т.н. В. А. Кос-тиним.

Для исследований использовался растровый электронный микроскоп JSM-840 (фирма «JEOL», Япония) с системой микроанализа LINK-860/500 (фирма «LINK SYSTEMS», Великобритания).

Производили анализ основных структурных составляющих матрицы наплавленного металла на площади несколько десятков мкм и точечный анализ различных включений на площади до 1 мкм (табл. 3, рис. 4).

Микрорентгеноспектральный анализ показал, что фосфидные включения глобулярной формы в исследованных типах наплавленного металла появляются при содержании фосфора около 1%

Таблица 3

Результаты микрорентгеноспектрального анализа наплавленного металла 35B9X3CF с различным содержанием фосфора

№№ п/п*	Место анализа	Массовая доля элементов, %						
		Fe	Mn	Si	Cr	W	V	P
1	Матрица	90,84	1,25	0,18	1,74	5,39	0,60	-
2	- « -	88,77	1,38	0,30	2,45	6,20	-	-
3	- « -	88,44	1,35	-	1,72	7,38	0,38	0,22
4	- « -	90,36	1,36	-	1,49	5,93	0,53	-
5	- « -	88,16	1,75	0,33	2,10	5,71	0,37	0,45
6	Включение	88,82	1,33	0,25	2,31	6,45	0,51	0,33
7	Включение	72,53	11,22	3,09	1,31	7,35	1,53	0,73
8	Матрица	89,51	1,63	1,22	1,69	3,67	0,45	0,70
9	Включение	79,23	3,22	0,13	4,72	5,49	0,75	6,07
10	Матрица	87,84	1,82	0,54	2,11	5,37	0,46	0,80
11	Матрица	87,40	1,42	0,44	1,96	7,51	0,34	0,70
12	Матрица	87,78	0,64	-	2,04	8,26	0,36	0,89
13	Матрица	90,05	1,35	0,40	2,06	5,42	0,21	0,48
14	Включение	70,98	2,39	-	5,86	11,50	1,41	7,59
15	Пленка	72,28	3,68	0,61	7,70	2,06	1,34	12,24
16	Матрица	85,10	1,12	-	2,07	9,17	0,37	1,57

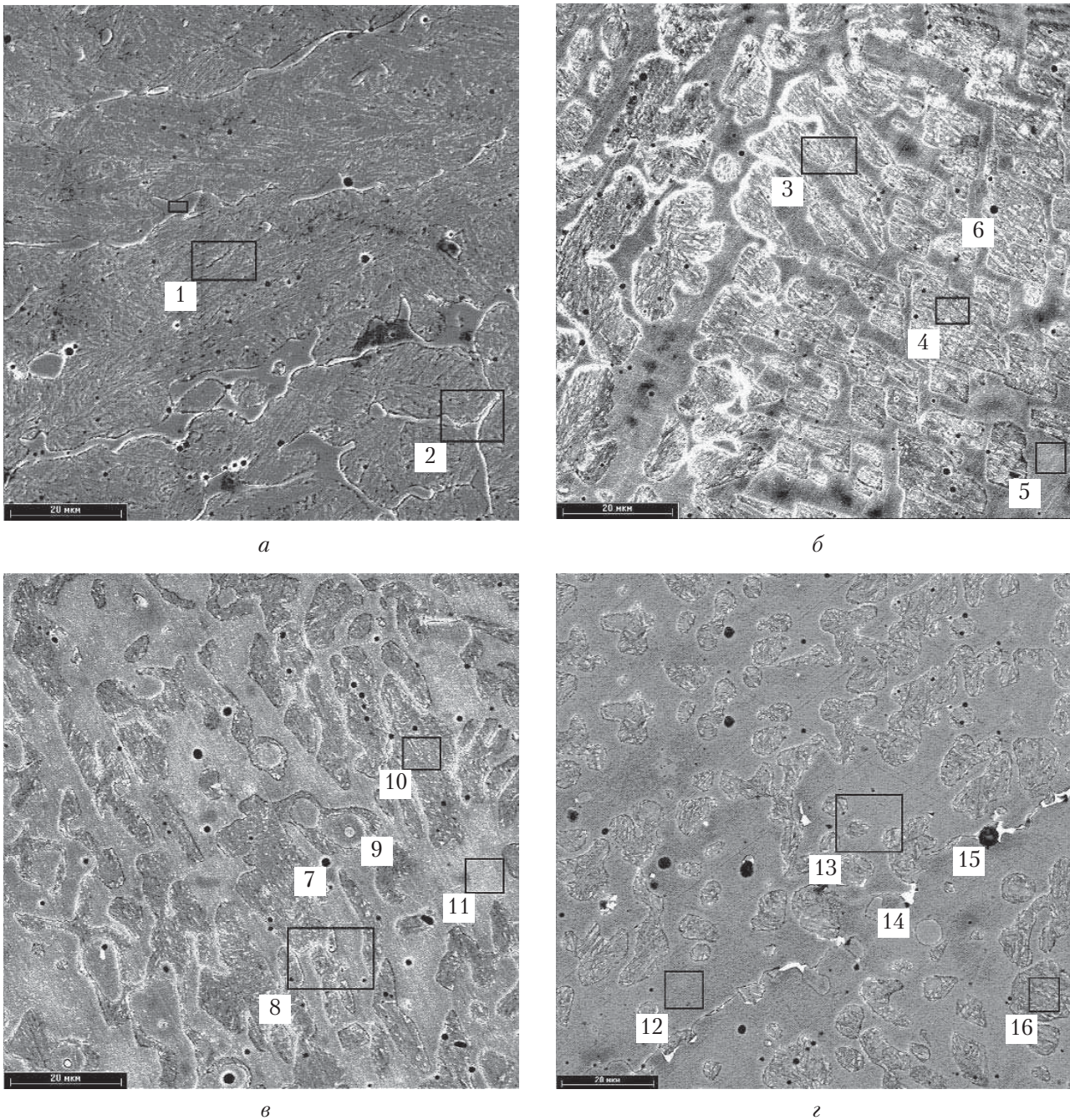


Рис. 4. Результаты микрорентгеноспектрального анализа наплавленного металла 35В9Х3СФ (приведена масс. доля элементов, %):

а – без фосфора; *б* – 0,5% фосфора; *в* – 1% фосфора; *г* – 1,5% фосфора. $\times 1000$

(рис. 4, в; табл. 3, № 9). До этого содержания весь фосфор находится в твердом растворе. С дальнейшим повышением содержания фосфора количество глобулярных фосфидных включений увеличивается, появляются также фосфидные пленки. Появление фосфидных включений положительно сказывается на износостойкости наплавленного металла (см. рис. 2). Однако они, повидимому, отрицательно влияют на термостойкость наплавленного металла (см. табл. 2).

Проведенные исследования показывают, что содержание фосфора в наплавленном металле 35В9Х3СФ необходимо выбирать с учетом неоднозначного влияния фосфора на износостойкость и термостойкость наплавленного металла и в зависимости от условий работы инструментов, которые необходимо наплавлять. Там, где нужна высокая износостойкость, а требования по термостойкости не играют существенной роли, содержание фосфора должно быть на верхнем пределе.



И наоборот, если необходимо в первую очередь обеспечить термостойкость наплавленного металла, то содержание фосфора необходимо ограничить 1,0%. В этом случае в наплавленном металле нет свободных фосфидов и фосфор, повышая в некоторой степени износостойкость, одновременно существенно не снижает термическую стойкость наплавленного металла.

Литература

1. *Рябцев И.И., Кусков Ю.М.* Перспективы использования фосфора в наплавочных материалах на основе железа // Автоматическая сварка. — № 1. — 2003. — С. 12–16.
2. *Триботехнические* характеристики наплавленного металла системы легирования Fe–Cr–Si–Mn–P / И.И. Рябцев, Ю.М. Кусков, В.Ф. Грабин и др. // Автоматическая сварка. — 2003 г. — № 6. — С. 20–24.
3. *Рябцев И.И.* Использование фосфора в низколегированных наплавочных материалах // Технологические системы. — 2008. — № 2. — С. 49–53.
4. *Рябцев И.И., Кусков Ю.М., Новикова Д.П.* Влияние фосфора на трещиностойкость низкоуглеродистого наплавленного металла системы легирования Fe–Mn–Si–Cr // Автоматическая сварка. — № 5. — 2006. — С. 15–19.
5. *Фрумин И.И.* Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Металлургиздат, 1961. — 421 с.
6. *Рябцев И.А., Кондратьев И.А.* Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Экотехнология, 1999. — 62 с.
7. *Геллер Ю.А.* Инструментальные стали. — М.: Металлургия, 1975. — 584 с.
8. *Рябцев И.И., Черняк Я.П., Осин В.В.* Блочномодульная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. — № 1. — 2004. — С. 18–20.