

УДК [621.791.927.5:62-434.1].002

*Рябцев И.И.*

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. Украина, Киев

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОСФОРА В НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

### *Анотація*

*Наведені результати досліджень впливу фосфору на триботехнічні характеристики наплавленого металу типу сталі 20ХГС. З використанням цих результатів розроблений порошковий дріт ПП-АН194, що забезпечує отримання наплавленого металу, легованого фосфором, і призначена для наплавлення деталей, що працюють в умовах сухого тертя металу по металу — коліс кранів, різних валів і осей.*

### *Abstract*

*Results of researches of influence of phosphorus on tribotechnics performances surface metal such as 20ХГС became reduced. With use of these results the powder wire ПП-АН194 providing deriving surface of metal, doped by phosphorus, and intended for a building-up welding of the component parts working in conditions of dry friction of metal on metal — crane sprockets, different bulwarks and axes is developed.*

Низколегированные наплавочные материалы обычно применяются для восстановления и упрочнения деталей пар трения: валов, осей, посадочных мест под подшипники, крановых колес и т.п. Наиболее широко для этих целей используются сплошные проволоки Св-18ХГС и Нп-30ХГСА, а также порошковые проволоки ПП-Нп-14ГСТ, ПП-Нп-19ГСТ, ПП-Нп-18ХГМ (ПП-АН120), ПП-Нп-20ХГТ и т.п. [1].

Обычно при выборе материалов для наплавки деталей пар трения руководствуются соотношением их твердостей. Более твердыми и износостойкими материалами наплавляются более дорогостоящие детали, замена которых приводит к значительным материальным и денежным затратам. Те же детали, которые проще изготовить и заменить, наплавляют менее износостойкими материалами. На наш взгляд, более перспективным в этом случае является разработка и применение таких наплавочных материалов, которые бы понизили потери на трение и увеличили износостойкость и срок службы обеих деталей такой пары.

В работе [2] для этой цели было предложено использовать фосфор, который, по некоторым данным [3–5], увеличивает износостойкость и, самое главное, снижает коэффициент трения скольжения литых сплавов на основе железа. Применению фосфора в качестве легирующего элемента в наплавочных материалах препятствует устойчивое мнение о его отрицательном влиянии на трещиностойкость сварных швов, хотя, как правило, речь идет о материалах с содержанием фосфора не выше 0,05% [6, 7]. Однако, как было показано [8], в низколегированном наплавленном металле до 1% фосфора растворяется в матрице и свободных фосфидов, которые могут служить причиной образования трещин в структуре наплавленного металла практически нет.

Было исследовано влияние фосфора на триботехнические характеристики низколегированного

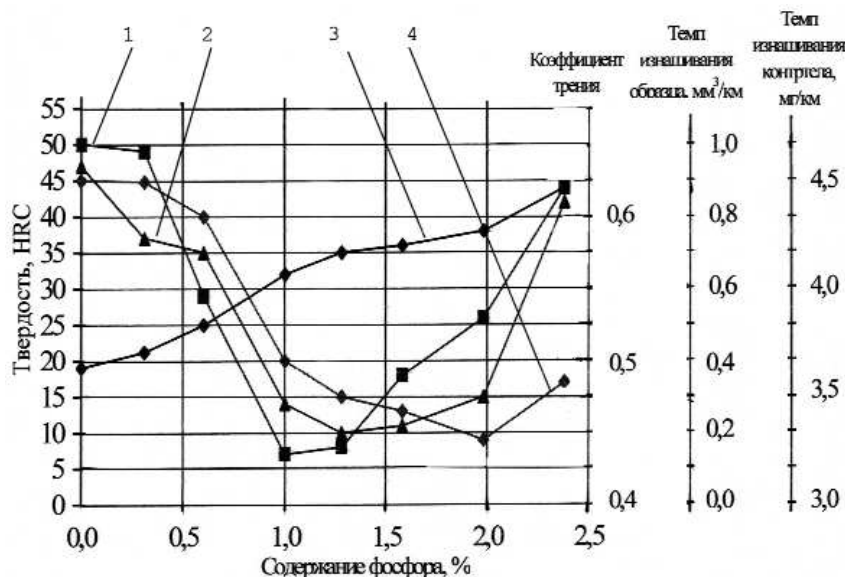
наплавленного металла типа стали 20ХГС. Для проведения исследований было изготовлено 8 порошковых проволок, обеспечивающих получение наплавленного металла типа с содержанием фосфора от 0,3 до 2,5% (табл. 1).

Пределы легирования фосфором были выбраны исходя из результатов исследований трещиностойкости этих материалов [8]. Из верхнего слоя наплавленного металла изготовили образцы размерами 3×15×25 мм для определения коэффициентов трения и износостойкости. Вал-контртело диаметром 40 мм и высотой 12 мм изготавливали из стали 45 и закаливали на твердость HRC 42. В процессе испытаний образец прижимается с усилием 30 Н к контртелу плоскостью, которая имеет в плане размеры 3×25 мм. При испытаниях скорость скольжения составляла 1 м/с, длительность испытания 600 с. Испытания проводились на установке для комплексной оценки свойств наплавленного металла [9].

**Таблица 1**

Химический состав исследуемых образцов наплавленного металла

№№ п/п	Условное обозначение порошковой проволоки	Массовая доля элементов, %				
		C	Mn	Si	Cr	P
1	ПП-0	0,10	2,00	1,45	0,72	-
2	ПП-0.3	0,11	1,95	1,38	0,91	0,32
3	ПП-0.6	0,12	2,10	1,73	1,03	0,59
4	ПП-0.9	0,10	2,05	1,65	1,09	0,98
5	ПП-1.2	0,14	1,98	1,72	1,12	1,23
6	ПП-1.5	0,11	1,90	1,50	1,05	1,58
7	ПП-2.0	0,13	2,03	1,81	1,12	2,02
8	ПП-2.5	0,12	2,00	1,78	1,19	2,46

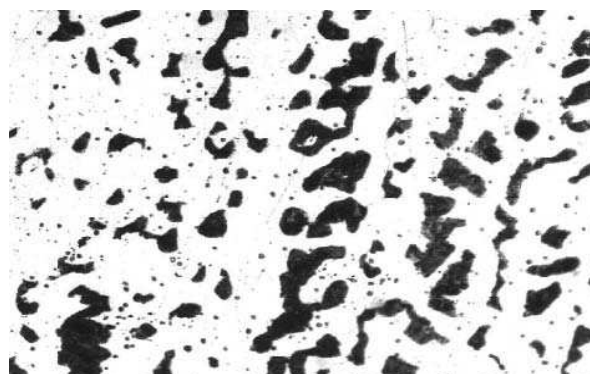

**Рис. 1.** Влияние фосфора на твердость и триботехнические характеристики наплавленного металла типа стали 20ХГС:

 1 — коэффициент трения; 2 — темп изнашивания образца, мм<sup>3</sup>/км; 3 — твердость наплавленного металла, HRC; 4 — темп изнашивания контртела, мг/км

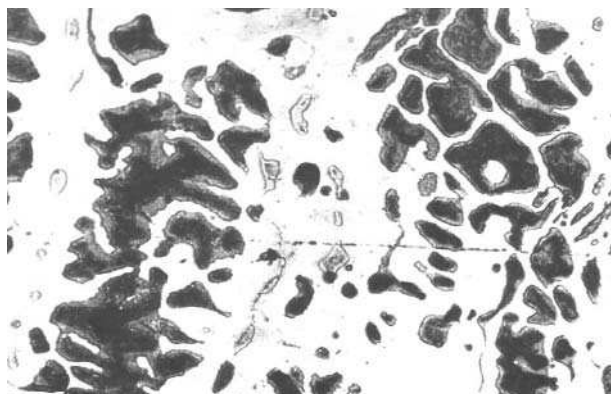
результаты определения триботехнических характеристик и твердости наплавленного металла с различным содержанием фосфора, средние по трем опытам, приведены на рис. 1. С увеличением содержания фосфора твердость равномерно возрастает с HRC 20 при содержании фосфора 0,3% до HRC 44 при его содержании 2,5% (рис. 1, кривая 3). Другие показатели изменяются по более сложным закономерностям. Коэффициент трения уменьшается с увеличением содержания фосфора и достигает минимума при содержании фосфора около 1% (рис. 1, кривая 1). Дальнейшее увеличение содержания фосфора приводит к повышению коэффициента трения и он практически становится равным коэффициенту трения стали 20ХГС при содержании фосфора 2,5%. Аналогичный характер имеют кривые, характеризующие темп изнашивания образца и контртела (рис. 1, кривые 2, 4). Сначала с увеличением содержания фосфора темп износа образца и контртела снижаются. Характер кривых меняется при содержании фосфора около 2,0% — темп износа образца и контртела начинает возрастать.



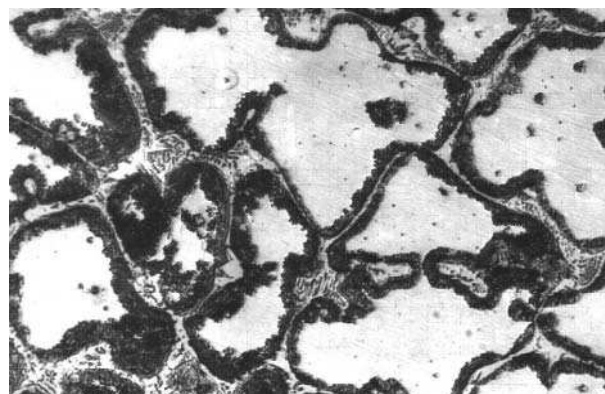
а



б



в



г

**Рис. 2.** Микроструктура наплавленного металла 20ХГСП с различным содержанием фосфора: а — без фосфора; б — 0,32% Р; в — 1,23% Р; г — 1,58% Р. Травление электролитическое в хромовой кислоте. X 00

Как показали металлографические исследования, структура наплавленного металла без фосфора (рис. 2, а) состоит из феррита (микротвердость  $HV_{0,01} = 185...199$ ), перлита (микротвердость  $HV_{0,01} = 205...228$ ) и участков бейнита (микротвердость  $HV_{0,01} = 205...254$ ). Уже при содержании фосфора 0,32% структура наплавленного металла измельчается (рис. 2, б). Как и в предыдущем случае, она состоит из смеси феррита (микротвердость  $HV_{0,01} = 201...205$ ), перлита (микротвердость  $HV_{0,01} = 257...290$ ) и бейнита (микротвердость  $HV_{0,01} = 257...290$ ). Появляются также участки бейнито-мартенситная смеси с микротвердостью  $HV_{0,01} = 378$ . Свободных включений фосфидов не обнаружено. По-видимому, весь фосфор растворен в матрице наплавленного металла.

При содержании фосфора 0,59 и 0,98% существенных изменений структуры не происходит, только еще в большей степени измельчается структура и увеличивается микротвердость структурных составляющих. В результате при содержании фосфора 0,98% отдельные структурные составляющие имеют такую микротвердость: феррит —  $HV_{0,01} = 299...309$ , перлит —  $HV_{0,01} = 330...378$ , бейнито-мартенситная смесь —

$HV_{0,01} = 591...613$ . При металлографических исследованиях включений свободных фосфидов при содержании в наплавленном металле 0,59 и 0,98% фосфора не обнаружено.

Строчечные включения фосфидов зафиксированы при содержании в наплавленном металле 1,23% фосфора (рис. 2, в). Микротвердость основных структурных составляющих осталась на прежнем уровне, микротвердость фосфидных включений составляет  $HV_{0,01} = 330...378$ . Существенно изменяется структура наплавленного металла при содержании фосфора 1,58% (рис. 2, г). В структуре наблюдается сплошная сетка фосфидной эвтектики с высокой микротвердостью —  $HV_{0,01} = 876...916$ . Увеличилась микротвердость ферритной матрицы —  $HV_{0,01} = 358$ . Аналогичный характер, но с большим количеством фосфидной эвтектики, имела структура наплавленного металла, содержащего 2,02 и 2,46% фосфора.

Данные триботехнических и металлографических исследований свидетельствует о том, что фосфор перестает благоприятно влиять на коэффициент трения наплавленного металла 20ХГСП после того, как в структуре стали фосфидные эвтектики образуют сплошную сетку. С учетом того, что и на трещиностойкость этого типа

наплавленного металла фосфор начинает отрицательно влиять также при содержании более 1% [8], было решено ограничить его содержание на этом уровне.

В результате проведенных комплексных исследований была разработана порошковая проволока ПП-АН194 (тип наплавленного металла 20ХГСП) для наплавки деталей пар трения. По техническим условиям порошковая проволока ПП-АН194 изготавливается для наплавки под флюсом АН-348А и в самозащитном варианте.

Опытно-промышленная проверка порошковой проволоки ПП-АН194 производилась при наплавке посадочных мест под подшипник скольжения на катушках шнеков диффузионного аппарата ДС-12 (оборудование Савинского сахарного завода, Харьковская обл.) и изношенных крановых колес (пара трения колесо-рельс).

Порошковой проволокой ПП-АН194 диаметром 3,0 мм под флюсом АН-348А производили дуговую наплавку посадочных мест под подшипники скольжения на четырех катушках шнека диффузионного аппарата ДС-12, изготовленных из стали 5. Диаметр посадочных мест 280 мм, ширина — 240 мм. Износ на сторону по диаметру колебался в пределах 4...7 мм. Наплавка производилась при горизонтальном расположении оси вращения катушек. Режим наплавки: ток 350...400 А; напряжение 34...36 В; скорость наплавки 25 м/ч. Внешний вид наплавленных катушек приведен на рис. 3, а. Следует отметить хорошее формирование металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Нп-АН194 (рис. 3, б). После механической обработки катушки переданы заказчику — Савинскому сахарному заводу (Харьковская обл.).

На аналогичных режимах производили дуговую наплавку поверхностей катания и реборд крано-

вых колес. Наплавку поверхностей катания производили в 5—6 слоев (толщина наплавленного металла 7...8 мм на сторону). Реборды наплавляли в два-три слоя.

При контрольном осмотре находящихся в эксплуатации крановых колес, наплавленных порошковой проволокой ПП-АН194, было установлено, что их износ в 1,5...2,0 раза меньше, чем у серийных из стали 65Г. Одновременно с этим отмечено уменьшение износа ответной детали — рельса.

### Выводы

1. Разработана порошковая проволока ПП-АН194, обеспечивающая получение наплавленного металла, легированного фосфором, и предназначенная для наплавки открытой дугой и под флюсом АН-348А деталей, работающих в условиях сухого трения металла по металлу — крановых колес, различных валов и осей. Металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН-194, имеет высокую износостойкость и пониженный коэффициент трения в условиях трения металла по металлу.

2. Опытно-промышленная проверка порошковой проволоки ПП-АН194 при наплавке крановых колес и катушек шнеков диффузионных аппаратов сахарного завода показала, что износостойкость наплавленных деталей возросла в 1,5...2,0 раза. Одновременно отмечено уменьшение износа ответной детали пары трения.

### Литература

1. Рябцев И.А., Кондратьев И.А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Экотехнология, 1999. — 62 с.
2. Рябцев И.И., Кусков Ю.М. Перспективы использования фосфора в наплавочных материалах



а



б

Рис. 3. Наплавленные катушки шнека диффузионного аппарата ДС-12 (а) и внешний вид наплавленной поверхности катушки (б)

на основе железа //Автоматическая сварка, 2003. — № 1. — С. 12–16.

3. Марковский Е.А., Качко Н.А., Машинецкий Н.Я. Формирование поверхностной структуры сплавов системы Fe-Cu, легированной серой и фосфором // Процессы литья, 1993. — № 4. — С. 15–18.

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. Марковский Е.А., Ильченко В.Д., Бутенко Л.И., Качко Н.А. Влияние состава и структуры антифрикционного сплава железа на его износостойкость// Процессы литья, 1999. — № 2. — С. 60–64.

6. Алексеев А.А., Явдоцин И.Р., Войткевич В.Г., Морозов Ю.Д. Влияние фосфора на структуру и

свойства металла швов при сварке низколегированных сталей//Автоматическая сварка, 1989. — № 4. — С. 7–10.

7. Влияние фосфора на ударную вязкость и химическую микронеоднородность металла сварных швов/И.К. Походня, В.Г. Войткевич, А.А. Алексеев и др.//Автоматическая сварка, 1992. — № 2. — С. 3–7.

8. Рябцев И.И., Кусков Ю.М., Новикова Д.П. Влияние фосфора на трещиностойкость низкоуглеродистого наплавленного металла системы легирования Fe-Mn-Si-Cr// Автоматическая сварка, 2006. — № 5. — С. 15–19.

9. Рябцев И.И., Черняк Я.П., Осин В.В. Блочномодульная установка для испытаний наплавленного металла //Сварщик, 2004. — № 1. — С. 18–20.