



## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОРА В НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА (Обзор)

И. И. РЯБЦЕВ, инж., Ю. М. КУСКОВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведен анализ литературных данных о влиянии фосфора на механические и эксплуатационные свойства сталей и чугунов. Показано, что фосфор является перспективным легирующим элементом в наплавочных материалах, предназначенных для восстановления и упрочнения деталей, работающих в условиях трения металла по металлу.

*Ключевые слова:* сталь, чугун, легирование фосфором, фосфидные эвтектики, механические свойства, наплавочные материалы

Фосфор достаточно широко распространен в природе — на него приходится около 0,04 % общей массы земной коры. Основным сырьем для получения фосфора и его соединений служат фосфориты и апатиты. В промышленных масштабах феррофосфор и ферроманганфосфор получают в процессе доменной плавки. Эти сплавы используются в металлургии для легирования и раскисления специальных сталей и чугунов.

Данные о растворимости фосфора в железе противоречивы. Автор работы [1] утверждает, что при комнатной температуре массовая доля растворенного в железе фосфора с образованием твердого раствора замещения может достигать 1,2 %. Согласно другим источникам [2] при комнатной температуре фосфор практически не растворяется в железе, образуя фосфиды  $FeP$ ,  $Fe_2P$ ,  $Fe_3P$ . И только при высоких температурах массовая доля растворенного в железе фосфора может достигать 0,6 %. В работе [3] отмечается, что при кристаллизации сталей и чугунов с содержанием этого элемента 0,05...0,50 % обычно образуется тройная фосфидная эвтектика с температурой плавления 950 °С, состоящая из цементита, фосфида  $Fe_3P$

и аустенита (феррита). При более высоком содержании фосфора, кроме тройной, может образовываться двойная фосфидная эвтектика (фосфид — феррит, фосфид — аустенит).

В настоящем обзоре представлены данные о влиянии фосфора на свойства сталей и чугунов, рассмотрены перспективы его применения в качестве легирующего элемента в наплавочных материалах.

**Влияние фосфора на свойства сталей.** Фосфор в небольших количествах содержится практически во всех промышленных сталях и чугунах, где почти всегда является нежелательной примесью. Он склонен к внутрикристаллической ликвации, приводящей к ухудшению пластических характеристик стали, особенно при пониженных температурах. По этой причине массовую долю этого элемента в высококачественных сплавах на основе железа ограничивают 0,03 % [4]. Тем не менее, известно [5–7], что фосфор увеличивает прочность железа и стали в большей степени, чем кремний, марганец, молибден, хром, ванадий и некоторые другие элементы (рис. 1, 2). Стали с повышенным содержанием фосфора обладают также антикоррозионными свойствами [6, 8] и довольно хорошими магнитными характеристиками [9, 10].

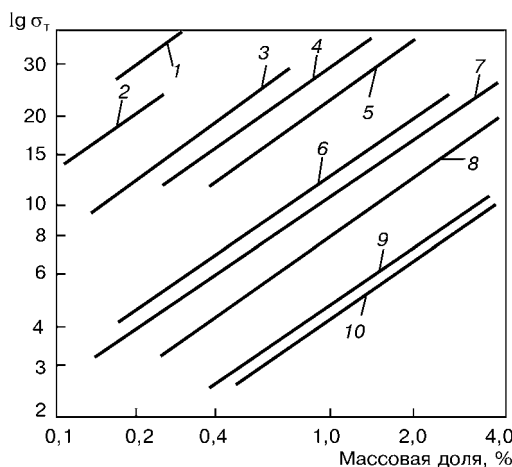


Рис. 1. Влияние содержания различных легирующих элементов на предел текучести  $\sigma_T$   $\alpha$ -железа: 1 — V; 2 — P; 3 — Cu; 4 — Si; 5 — Ti; 6 — Mn; 7 — Ni; 8 — V; 9 — Co; 10 — Cr

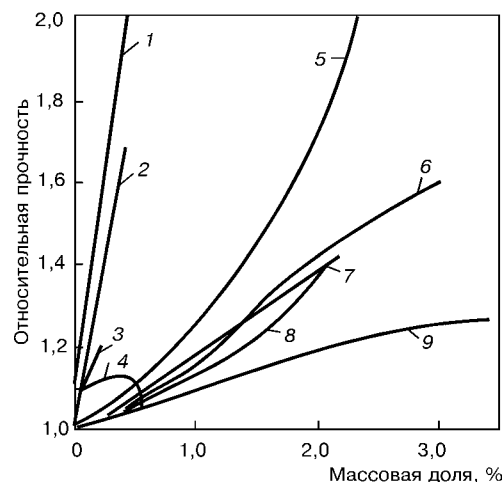


Рис. 2. Влияние содержания различных легирующих элементов на относительную прочность нормализованной стали: 1 — C; 2 — Mo; 3 — P; 4 — V; 5 — Mn; 6 — Cu; 7 — Si; 8 — Cr; 9 — Ni

© И. И. Рябцев, Ю. М. Кусков, 2003

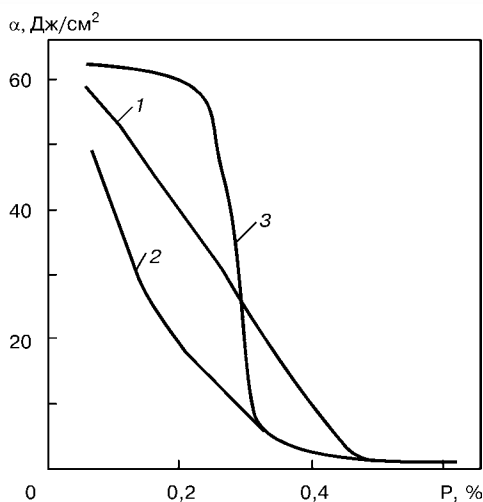


Рис. 3. Влияние содержания фосфора на ударную вязкость  $\alpha$  стали при массовой доле углерода: 1 – 0,040...0,090; 2 – 0,12...0,18; 3 – 0,25...0,35 %

В то же время при изучении совместного влияния фосфора и углерода на ударную вязкость некоторых сталей установлено [7], что при содержании фосфора  $\geq 0,3$  % этот показатель резко падает (рис. 3). Отрицательно воздействует фосфор и на температуру перехода в хрупкое состояние перлитных сталей с массовой долей углерода 0,3 %. Негативное воздействие фосфора на ударную вязкость и температуру перехода стали в хрупкое состояние может быть нейтрализовано за счет ее легирования алюминием [11, 12]. Благоприятное влияние последнего некоторые авторы [13] объясняют снижением избыточной энергии границ металлургических зерен, обогащенных фосфором.

Исследовалась возможность использования фосфора для улучшения свойств стали при повышенных температурах. Установлено [7], что введение 1,0 % фосфора в сталь, содержащую: 0,10 % С; 5,0 % Сг; 0,5 % Мо, увеличивает при повышенной температуре предел текучести и прочности при небольшой потере пластичности. В работе [14] отмечается, что при содержании фосфора 0,2 % в стали 12Х18Н9Т ее жаропрочность повышается в 5...10 раз без снижения стойкости к межкристаллитной коррозии.

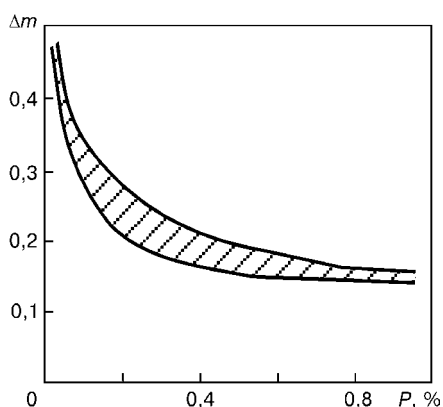


Рис. 4. Влияние содержания фосфора на относительную потерю массы  $\Delta m$  (заштрихованная область) при нагреве низкоуглеродистых сталей на воздухе при  $T = 760$  °С

Таблица 1. Химический состав и твердость исследованных сплавов

№ сплава	Массовая доля элементов, %				Твердость сплавов HRC	
	C	Cu	S	P	литых	закаленных
1	0,19	7,92	0,42	0,34	26	20
2	0,26	7,94	0,72	0,45	28	59
3	0,70	7,94	0,72	0,48	37	26
4	0,86	8,00	0,70	0,52	32	54
5	1,03	7,76	1,36	0,60	38	54

Существует мнение, что фосфор увеличивает износостойкость и снижает коэффициент трения скольжения сплавов на основе железа [15]. Это подтверждено данными работ [16–19], в которых изучались литые сплавы на основе железа содержащие (%): меди до 10, фосфора 0,3...1,6, серы 0,42...1,36, углерода до 1,03. Показано, что в структуре сплавов системы Fe–Cu с 1,0...1,6 % фосфора и 0,3...0,8 % серы образуются эвтектические фазы, выполняющие роль твердой смазки. Триботехнические характеристики этих сплавов в условиях трения скольжения при граничной смазке находятся на уровне таковых для бронзы Бр.ОФ10-1.

Таким образом, наличие в составе сплава компонентов на базе соединений фосфора и серы должно в значительной мере снижать потери на трение.

В работе [18] представлены результаты исследований влияния углерода на структуру антифрикционных сплавов на основе железа, легированных медью, серой и фосфором, в литом и закаленном состояниях (табл. 1). Установлено, что износостойкость опытных сплавов с массовой долей углерода более 0,3 % превышает износостойкость бронзы Бр.АЖМц10-3-1.5 в 3 и более раз. Структура исследуемых сплавов изменяется от ферритно-перлитной (сплав № 1) до перлитно-карбидной (сплав № 5). Микротвердость фосфидной эвтектики изменяется от 2840 (сплав № 1) до 7840 МПа (сплав № 5). Сплавы имеют высокую износостойкость и хорошие антифрикционные свойства, которые можно варьировать в определенных пределах путем изменения состава сплавов.

Исследовано влияние фосфора на окислительную стойкость, удельное электрическое сопротивление и магнитные характеристики стали [7]. Фосфор существенно снижает окисление стали при высокотемпературном нагреве (рис. 4). Увеличение массовой доли фосфора приблизительно до 0,60 % приводит к линейному росту удельного электрического сопротивления. Дальнейшее повышение содержания фосфора практически не влияет на эту характеристику. С увеличением массовой доли фосфора меняются и магнитные свойства стали. Фосфор способствует также уменьшению коэрцитивной силы, увеличению максимальной магнитной проницаемости, но практически не влияет на остаточную индукцию.

**Влияние фосфора на свойства чугунов.** В состав чугунов фосфор вводят в значительно больших количествах, чем в сталь (до нескольких процен-



тов). Наличие легированной фосфидной эвтектики позволяет улучшить жидкотекучесть чугунов и получать из них качественные отливки (например, центробежные трубы, художественное литье). Фосфористые чугуны характеризуются также тем, что они обладают высокой износо-, жаро- и коррозионной стойкостью [20]. Однако низкая прочность, несмотря на хорошие антифрикционные свойства, сдерживает их применение в промышленности.

В работе [21] изучали природу хрупкости алюминиевого чугуна с фосфором, содержащего (массовая доля, %): С 2,26... 2,31; Al 1,50... 1,65; Mn 0,20... 0,26; Si 0,18... 0,21. При этом массовую долю фосфора изменяли в разных плавках в пределах 0,07... 0,36 %. Фосфидная эвтектика обнаружена во всех образцах опытных плавок, причем с повышением содержания фосфора ее распределение изменялось от отдельных равномерно распределенных включений до грубых скоплений в виде разорванной сетки по границам металлических зерен. Микрорентгеноструктурный анализ показал, что на участках матрицы, граничащих с фосфидной эвтектикой, образуется слой, насыщенный фосфором, толщина которого составляет всего 18... 20 мкм. Отличительной особенностью распределения этого элемента в алюминиевом чугуне является малый размер переходного слоя вблизи фосфидной эвтектики, что должно благоприятно влиять на показатели вязкости и пластичности чугуна. Это предположение было подтверждено результатами механических испытаний: уменьшение хрупкости под влиянием фосфора, присущее чугунам системы Fe-Si-C, в значительной степени ослабляется при частичной или полной замене в них кремния алюминием. Влияние кремния и алюминия на пластические свойства фосфористых чугунов авторы [21] объясняют следующим образом. Находящиеся в твердом растворе атомы фосфора не только слабо связаны с атомами железа и кремния, но и ослабляют силы взаимодействия атомов основного компонента между собой. Замена кремния алюминием должна сопровождаться перераспределением сил межатомных связей. При этом возможно возникновение в твердом растворе устойчивых связей типа Al-P. Их появление должно нейтрализовать отрицательное влияние фосфора на процессы взаимодействия атомов основного компонента. Таким образом, алюминий способствует качественному и количественному изменению природы и механизма влияния фосфора на хрупкость чугуна, создает благоприятные перспективы для получения новых высококачественных сплавов.

В современном машиностроении для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях трения со смазкой, все шире применяют фосфорсодержащие (0,3... 0,4 % P) серые чугуны (ФСЧ), легированные различными элементами [22]. Структура отливок из ФСЧ должна содержать пластинчатый равномерно распределенный графит средних размеров, мелкодисперсную перлитную матрицу, замкнутую сетку мелких включений тройной фосфидной эвтектики и мелкое эвтектическое зерно [22]. Наличие тройной фосфид-

ной эвтектики, особенно в виде замкнутой или разорванной сетки, приводит к уменьшению износа и улучшению стойкости металла к задирам.

Известно [22], что фосфор, как и кремний, повышает активность углерода в сплаве железо-углерод, что приводит к графитизации чугуна. Следовательно, фосфор, подобно кремнию, должен обладать модифицирующим действием при выплавке чугуна. Применение фосфорсодержащих лигатур в качестве графитизирующего модификатора улучшает структуру ФСЧ, что, по мнению авторов [22], должно повысить износостойкость и прочностные свойства деталей, работающих в условиях трения и смазки.

В работе [23] исследовали прочность чугуна с содержанием фосфора 0,05... 0,5 %, после различной термообработки (образцы подвергали нормализации или ферритизирующему отжигу). Установлено, что при увеличении содержания фосфора до указанных пределов твердость чугуна возрастает на 20 %, а предел прочности уменьшается в 2 раза по сравнению с чугуном, не легированным фосфором. По-видимому, это связано с образованием в структуре чугуна фосфидной эвтектики.

Антифрикционные свойства и износостойкость чугуна определяли на машине трения МТ-66 [24] при скорости скольжения 1... 3 м/с и давлении до 50 кПа с ограниченной подачей смазки И-20. В качестве контртела применяли закаленную сталь 45. Легирование фосфором в пределах 0,05... 0,5 % вызывает повышение износостойкости чугуна в 5 раз при нормализации и в 2 раза при ферритизирующем отжиге по сравнению с нелегированным чугуном. Влияние фосфора на изменение коэффициента трения чугуна не обнаружено [23].

Для повышения эксплуатационных свойств колесок автоматических тормозов железнодорожного и промышленного транспорта исследовали [25] возможность модифицирования добавками 0,1... 0,5 % Се доэвтектических чугунов, содержащих (массовая доля, %): С 2,6... 3,2; Si 1,4... 1,6; Mn 0,5... 0,7; P 0,3... 3,5. С увеличением содержания фосфора пластины графита вначале утончаются, далее образуется грубопластинчатый графит, соответственно изменяется и размер, и количество эвтектических включений. При этом разветвленность дендритов возрастает, а их количество и размеры уменьшаются. При массовой доле фосфора 2,5... 3,5 % количество избыточного аустенита уменьшается, а фосфидной эвтектики — возрастает. Установлено, что небольшие добавки селена обладают эффективным модифицирующим действием. В чугунах с содержанием фосфора 2,5 % и более повышается эффективность селена как модификатора. С увеличением содержания фосфора улучшаются износостойкость и фрикционные свойства чугунов. Так, при содержании фосфора 1,4 % износостойкость и коэффициент трения чугунов на 10... 15 % меньше, чем у чугунов с 2,5 % фосфора.

Одним из наиболее перспективных путей увеличения износостойкости чугуна для тормозных устройств является его легирование фосфором в сочетании с ванадием, титаном и другими леги-



**Таблица 2. Энтальпия образования карбидов некоторых металлов [28]**

Карбид	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/(атом С)	Карбид	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/(атом С)
ZrC	-196,6	SiC	-71,9
Nb <sub>2</sub> C	-188,2	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	-48,9
TiC	-183,6	Mo <sub>2</sub> C	-46,0
NbC	-139,7	WC	-40,5
VC	-100,8	Fe <sub>3</sub> C	-25,1
Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	-98,2	Mn <sub>3</sub> C	-15,0

дильсь в мелкодисперсном состоянии и упрочняли сталь так же, как и карбиды [27]. Учитывая то обстоятельство, что в наплавочных сплавах, как правило, в качестве легирующих элементов используются сильные карбидообразователи, важное значение имеет установление равновесия между карбидами и фосфидами легирующих металлов, которое зависит от их термодинамических характеристик (табл. 2, 3). Так, исходя из этих данных, карбид титана должен образовываться прежде его фосфида.

**Таблица 3. Энтальпия образования фосфидов некоторых металлов [28]**

Фосфид	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/(атом Р)	Фосфид	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/(атом Р)	Фосфид	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/(атом Р)
Zr <sub>2</sub> P	-513	MoP	-192	Ni <sub>2</sub> P	-162
ZrP	-426	Cr <sub>3</sub> P	-252	NiP	-108
Ti <sub>2</sub> P	-456	CrP	-168	Co <sub>2</sub> P	-174
TiP	-265	MnP	-186	CoP	-158
Nb <sub>2</sub> P	-405	Mn <sub>3</sub> P	-181	Fe <sub>3</sub> P	-163
NbP	-320	Mn <sub>2</sub> P	-172	Fe <sub>2</sub> P	-147
V <sub>2</sub> P	-327	WP	-172	FeP	-119
VP	-238	W <sub>2</sub> P	-171	AlP	-150
Mo <sub>2</sub> P	-255	Ni <sub>3</sub> P	-197	SiP	-69

Фосфор в значительной степени улучшает жидкотекучесть сплавов на основе железа, снижая их поверхностное натяжение. В работе [29] исследовали влияние фосфора на жидкотекучесть чистого железа. При температуре около 1000...1200 °С наблюдается полное растекание жидкого сплава, легированного фосфором. Таким образом, фосфор в жидком железе проявляет поверхностную активность, способствуя уменьшению поверхностного натяжения. Снижение последнего должно положительно сказываться на формировании наплавленных слоев. Лучшее формирование наплавленного металла позволяет уменьшить припуски и облегчить механическую обработку наплавленных деталей, что в конечном счете повысит экономические показатели процесса наплавки.

рующими элементами [26]. Стендовые и эксплуатационные испытания тормозных колодок из фосфористого чугуна показали, что повышенное содержание фосфора, легирующих и модифицирующих элементов положительно влияет на строение фосфидной эвтектики и структурной основы чугуна, вследствие чего износостойкость деталей повышается в 2–3 раза по сравнению с износостойкостью деталей из нелегированного чугуна.

**Перспективы применения фосфора в наплавочных материалах.** Анализ приведенных в настоящем обзоре литературных данных показывает, что легирование фосфором улучшает триботехнические характеристики сталей и чугунов. Это позволяет считать перспективным его применение в материалах, используемых для наплавки различных валов, осей, роликов рольгангов, катков и звеньев гусениц промышленных и сельскохозяйственных тракторов и других деталей, работающих в условиях трения металла по металлу. Некоторые исследователи полагают также, что фосфор улучшает сопротивление стали задирам [22]. Это может быть использовано при легировании материалов для наплавки штампов глубокой высадки и других деталей, работающих в аналогичных условиях.

В нелегированных сталях фосфор образует легкоплавкие хрупкие эвтектики типа FeP–Fe<sub>3</sub>P. Фосфиды железа не отличаются высокой твердостью и термодинамической устойчивостью, поэтому предлагается связывать фосфор вместо легкоплавких и хрупких эвтектик типа FeP–Fe<sub>3</sub>P в тугоплавкие фосфидные фазы типа Al–P, B–P или (Fe, Cr)<sub>3</sub>P и (Fe, Mo)<sub>3</sub>P [27]. При этом фосфидная фаза на основе железа будет находиться в термодинамическом равновесии с тройной фосфидной фазой. В зависимости от термообработки можно добиться того, чтобы эти фосфидные фазы нахо-

дились в мелкодисперсном состоянии и упрочняли сталь так же, как и карбиды [27]. Учитывая то обстоятельство, что в наплавочных сплавах, как правило, в качестве легирующих элементов используются сильные карбидообразователи, важное значение имеет установление равновесия между карбидами и фосфидами легирующих металлов, которое зависит от их термодинамических характеристик (табл. 2, 3). Так, исходя из этих данных, карбид титана должен образовываться прежде его фосфида.

При наплавке отрицательное влияние фосфора может быть нейтрализовано тем, что у наплавленной детали прочность обеспечивается основным металлом, а наплавленный слой улучшает эксплуатационные характеристики (сопротивление различным видам изнашивания, коррозии и т. п.). В наплавочных материалах фосфор предполагается использовать как легирующий элемент — его содержание может достигать нескольких процентов. Поэтому первоочередными задачами при разработке таких материалов будут: определение коэффициента перехода фосфора в наплавленный металл при различных способах дуговой наплавки, оценка сварочно-технологических свойств и формирования наплавленного металла, а также его склонности к горячим и холодным трещинам.

### Выводы

1. Легирование фосфором с содержанием до 0,6 % увеличивает прочность стали. Одновременно с повышением содержания фосфора ухудшаются ее пластические характеристики: ударная вязкость, относительное удлинение и сужение.
2. Фосфор увеличивает износостойкость и снижает коэффициент трения сплавов на основе железа. В структуре таких сплавов, легированных фосфором и серой с массовой долей соответственно 1,0...1,6 и 0,3...0,8 %, образуются эвтектики, которые могут выполнять роль твердой смазки.
3. Повышенная износостойкость наплавочных сплавов, легированных фосфором, может быть достигнута путем формирования в структуре ком-



пактных фосфидов легирующих элементов (в первую очередь, молибдена, ниобия, титана, циркония), образование которых термодинамически более вероятно. Лучшие результаты по износостойкости при расположении фосфидной эвтектики по границам зерен могут быть получены при ее формировании в виде тонкой замкнутой или разорванной сетки.

4. Введение в низколегированные наплавочные сплавы даже небольших количеств фосфора должно оказывать положительное влияние на формирование наплавленных слоев, что связано со снижением поверхностного натяжения расплавленного металла.

5. Использование фосфора в качестве легирующего элемента позволит создать новый класс низколегированных износостойких наплавочных материалов для наплавки изделий, работающих в условиях трения металла по металлу.

Авторы выражают благодарность канд. техн. наук [В. Б. Черногоренко] (ИИМ НАН Украины) за помощь в подборе литературы и полезные советы при написании настоящего обзора.

1. *Дорошек С. И.* Влияние фосфора на структурные превращения и свойства низколегированной электротехнической стали // *Физика металлов и металловедение*. — 1959. — № 8, № 5. — С. 770–776.
2. *Гудремон Э.* Специальные стали. — М.: Металлургия, 1966. — Т. 2. — 1638 с.
3. *Энциклопедия неорганических материалов*. — Киев: Гл. ред. Укр. сов. энцикл., 1977. — Т. 2. — 813 с.
4. *Мучник С. В.* Химия и технология фосфорсодержащих сплавов. Фосфорсодержащие сплавы // *Химия и технология фосфидов и фосфорсодержащих сплавов*. — Киев: Ин-т проблем материаловедения АН УССР, 1979. — С. 15–20.
5. *Stitzig W. A., Sober R. J.* Effect of phosphorus on the mechanical properties of hot-rolled 0.1...1.0 Mn steel strip // *Met. Trans.* — 1977. — № 8, № 10. — P. 1585–1590.
6. *Пат.* 48-9689 Япония. Содержащая фосфор высокомарганцевая сталь для клапанов / К. Кусака, Т. Фукасе. — Опубл. 27.03.73.
7. *Spretiniak J. W.* Phosphorus in metallurgy. Phosphorus and its compounds. Vol. 2: Technology, biological functions and application / Ed. R. John van Wazer. — Interscience publ., 1961. — P. 1823–1855.
8. *Гуляев А. П., Пулкова В. М.* Влияние фосфора на коррозионные свойства нержавеющей сталей // *Коррозионностойкие металлические конструкционные материалы и их применение*. — М.: Машиностроение, 1974. — С. 49–52.
9. *Schubert H.* Neue Dauermagnetwerkstoffe // *Int. J. Magn.* — 1973. — № 1–3. — S. 215–222.
10. *Заявка* 2539582 ФРГ. Износостойкие сплавы с высокой магнитной проницаемостью / К. Такаянаги, А. Негиси. — Опубл. 07.04.77.
11. *Кейз С. Л., Ван-Горн К. Р.* Алюминий в чугунах и сталях. — М.: Металлургиздат, 1959. — 220 с.
12. *Свечников В. Н., Труш И. Х.* Влияние азота на механические свойства среднеуглеродистой фосфористой стали // *Изв. вузов. Черн. металлургия*. — 1958. — № 12. — С. 81–88.
13. *Грдина Ю. В., Гликман Е. Э.* О механизме влияния алюминия и фосфора на склонность к хрупкому разрушению высокофосфористой стали // *Там же*. — 1964. — № 12. — С. 106–111.
14. *Медовар Б. И., Пинчук Н. И., Пузрин Л. Г.* Влияние фосфора на длительную прочность сварных швов стали X18H9T // *Металловедение и терм. обработка металлов*. — 1962. — № 8. — С. 24–25.
15. *Бакфарт Ф. Г., Даниел С. Г.* Новое о смазочных материалах // *Сб. докл. междунар. конф. по смазочным материалам*, Вашингтон, 1964. — М.: Химия, 1967. — 651 с.
16. *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.
17. *Качко М. О., Марковский Е. А., Ильченко В. Д.* Антифрикционные сплавы железа с фазами твердого мастила // *Металлознавство та оброб. металів*. — 1998. — № 3. — С. 17–21.
18. *Влияние состава и структуры антифрикционного сплава железа на его износостойкость* / Е. А. Марковский, В. Д. Ильченко, Л. И. Бутенко, Н. А. Качко // *Процессы литья*. — 1999. — № 2. — С. 60–64.
19. *Литейные свойства антифрикционных сплавов в зависимости от количества основных легирующих элементов сплава* / В. Д. Ильченко, Е. А. Марковский, Л. И. Бутенко, Н. А. Качко // *Там же*. — № 4. — С. 62–66.
20. *Бобро Ю. Г., Савчук С. А.* Синтегал — новый конструкционный чугун из группы Fe–Al–C-сплавов // *Литейные сплавы*. — Киев: Наук. думка, 1973. — С. 77–78.
21. *Бобро Ю. Г., Савчук С. А., Шаркин О. П.* Природа хрупкости алюминиевого чугуна с фосфором // *Литейное пр-во*. — 1971. — № 10. — С. 32–34.
22. *Сыроковашев А. В., Бауман Б. В.* Модифицирование серых фосфористых чугунов, работающих в условиях трения // *Там же*. — 2000. — № 9. — С. 16–17.
23. *Антифрикционные свойства и износостойкость модифицированного чугуна, легированного ферроманганосилицием и феррофосфором* / В. Д. Краля, В. В. Пушкарев, А. И. Матвиенко и др. // *Химия и технология фосфидов и фосфорсодержащих сплавов*. — Киев: Ин-т проблем материаловедения АН УССР, 1979. — С. 53–56.
24. *Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин*. — Киев: Наук. думка, 1979. — 188 с.
25. *Модифицированные высокофосфористые чугуны* / В. П. Есаулов, А. И. Яценко, Г. Е. Белай и др. // *Литейное пр-во*. — 1977. — № 6. — С. 8–10.
26. *Кунцев А. М., Сухариков Ю. И., Левитов Б. Л.* Перспективы получения и применения высокофосфористых комплексных сплавов, содержащих легирующие металлы // *Химия и технология фосфидов и фосфорсодержащих сплавов*. — Киев: Ин-т проблем материаловедения АН УССР, 1979. — С. 32–33.
27. *Черногоренко В. Б.* Пути развития работ по получению, исследованию и применению фосфидов и фосфорсодержащих сплавов // *Там же*. — С. 5–15.
28. *Черногоренко В. Б., Ершов Г. Г., Гаврилюк Г. В.* Уменьшение вредного воздействия фосфора в железоуглеродистых сплавах путем легирования // *Металлы*. — 1998. — № 2. — С. 6–10.
29. *Самсонов Г. В., Панасюк А. Д., Боровикова М. С.* Влияние фосфора на адгезию жидких металлов к тугоплавким соединениям // *Получение, свойства и применение фосфидов*. — Киев: Наук. думка, 1977. — С. 63–66.

Analysis of literature data on the effect of phosphorus on mechanical and service properties of steels and cast irons has been conducted. It is shown that phosphorus is a candidate alloying element for surfacing consumables intended for repair and hardening of parts operating under metal against metal friction conditions.

Поступила в редакцию 18.02.2002