

УДК 621.647

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Д.Л. Стасенко, В.Ю. Процко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. Растворы углерода, бора, кремния и других металлоидов в железе всегда были в центре внимания металлургии. Сплавы системы ТМ-М (металл-металлоид) обладают уникальными механическими, коррозионностойкими свойствами и находят применение в технике. Структура расплавов, характеризуется ближним порядком расположения атомов. Отсутствие в них дальнего порядка в расположении атомов и дефектов, свойственных кристаллическому состоянию, ведет к росту предела прочности сплавов, приближающегося к теоретическому значению $E/50$, где E – модуль Юнга. Для кристаллических сплавов эта величина составляет $\sigma_{\text{в}} = E/10^5 - E/10^2$ [1].

Абсолютное значение предела прочности для сплавов на основе железа, никеля, хрома, как правило, находятся в пределах $(2-3,5) \cdot 10^8$ Па [2]. Наряду с высокой прочностью такие сплавы обладают высокой твердостью, которая достигает величины $\approx HV1000$ и более. Для таких материалов отношение $HV/\sigma_{\text{в}}$ составляет 2,5-3, что близко к теоретической величине равной 2,9 для идеально пластичных тел.

Цель работы: определение перспективных высокопрочных, износостойких и коррозионностойких сплавов на железной основе для газопламенного напыления.

Основная часть. Важным фактором, влияющим на прочностные характеристики сплавов, является их химический состав. В сплавах с одинаковыми основными металлическими элементами, прочностные свойства изменяются в зависимости от сорта и количества атомов металлоидов. Следует заметить, что основная роль в формировании механических свойств принадлежит основному компоненту сплава. Кроме того, твердость сплавов также возрастает по мере увеличения разности номеров групп и номеров периода основного металлического компонента и других элементов сплава в периодической системе [1-3].

Особенности структуры сплава, зависящей от его легирования, оказывают решающее влияние на их устойчивость при нагреве. В сплавах системы ТМ-М подгруппы железа усиление межатомной связи железа и легирующего металла, а также металлоида с легирующим металлом ведут к росту устойчивости этих сплавов. Металлы подгруппы железа имеют почти одинаковые размеры атомов и отличаются числом электронов, а

также величиной энергии взаимодействия с металлоидами. Поэтому правильный выбор легирующих компонентов может создать кинетически выгодные условия для изменения типа кристаллизации и физико-механических свойств сплавов. Для выбора перспективных высокопрочных и коррозионностойких сплавов было оценено влияние металлоидов на основные механические характеристики, термическую и коррозионную стойкость сплавов (табл. 1) [2].

Таблица 1. Влияние металлоидов на свойства сплавов на основе железа

Параметр	Металлоидные элементы, влияние которых предпочтительнее	Сочетание металлоидов и порядок убывания механических свойств
Прочность	Бор	B→C→Si→P
Твердость	Бор	B→C→Si→P
Термическая стабильность	Кремний	Si→B→P→C
Коррозионная стойкость	Фосфор	P→C→B→Si
Сопротивление скручиванию	Кремний	Si →B→C→P

Бор является наиболее эффективной легирующей добавкой в сплавах на основе железа. В сравнении с Si, P, C его влияние на прочностные свойства в литом состоянии наиболее высокое. Оптимальная концентрация бора в сплавах системы Fe-B-Si составляет 3,7-4,5 (% масс.). Углерод по влиянию на механические свойства уступает только бору. При дополнительном введении углерода в сплавы системы Fe-B-Si прочность возрастает. Оптимальная концентрация углерода в таких сплавах составляет 0,5-1,2 (% масс.).

Заметное повышение механических свойств наблюдается в комплексных сплавах на основе железа, бора и углерода при легировании хромом, марганцем, никелем и ванадием. Последний выступает как эффективный микролегирующий компонент, усиливающий эффект измельчения и инвертирования структуры, существенно упрочняющий матрицу. Он обеспечивает однородность структуры, повышение коррозионной стойкости и упруго-пластических свойств.

Анализ литературных данных [1-3] и патентные исследования по основам создания высокопрочных аморфных сплавов позволяет рекомендовать использование в опытных условиях следующие сплавы на основе железа: $Fe_{94,9}B_{3,6}Si_{0,5}C_{1,0}$, $Fe_{73,9}Cr_{4,5}Ni_{1,8}Al_{0,3}Cu_{5,5}B_{4,5}Si_{7,6}V_{0,9}C_{1,0}$, $Fe_{94}B_{4,5}Si_{1,5}$, $Fe_{87}Cr_{4,5}B_{3,8}Si_{1,5}V_{2,1}C_{1,1}$, $Fe_{70,48}Cr_{8,88}Co_{2,42}Ni_{6,68}Mo_{6,42}B_{4,8}Si_{0,32}$ (%масс.), $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$ (% ат.), а также ряд высокопрочных [2] (табл. 2) и коррозионностойких [2, 3] (табл. 3) сплавов на основе железа. Сравнительные данные механических и технологических испытаний последних представлены в таблицах 4, 5.

Таблица 2. Высокопрочные сплавы на основе железа

Сплав	Содержание компонентов в сплаве, % масс.											
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ca	P	B	PЗМ	Al	Mg	Fe
1	1,0	13	0,7	0,5	1,6	0,05	-	-	0,08	-	0,05	ост.
2	0,03	2,1	0,7	0,05	0,02	0,002	0,06	0,30	-	0,05	0,01	ост.
3	1,1	5,7	1,6	0,2	0,85	0,03	0,1	2,5	-	3,1	0,03	ост.
4	1,2	7,5	2,9	1,0	2,5	0,06	0,2	3,1	-	6	0,05	ост.

Таблица 3. Коррозионностойкие сплавы на основе железа

Сплав	Содержание компонентов в сплаве, % масс.									
	C	Si	Mn	Cu	V	Al	Cr	B	Ni	
1	0,7	15	0,7	5,3	0,2	0,2	-	-	-	
2	0,7	5,4	0,35	0,4	0,3	0,2	2,7	2	0,7	
3	1	7,6	0,6	5,5	0,9	0,3	4,5	4,5	1,8	
4	1,2	9,3	0,8	7,1	1,8	0,8	6,3	5,4	2,1	

Таблица 4. Свойства высокопрочных сплавов на основе железа

Наименование показателей	Номер сплава			
	1	2	3	4
Длительная прочность, МПа:				
при 350 °С	235	261	321	355
при 450 °С	182	235	305	340
Термическая стойкость циклов	300	460	670	512
Относительная износостойкость, %	118	126	132	140
Относительное удлинение, %	7,5	11,4	16,2	15
Ударная вязкость, Дж/см ²	8,5	16,6	24,1	18,2

Таблица 5. Механические свойства коррозионностойких сплавов на основе железа

Наименование показателей	Номер сплава			
	1	2	3	4
Предел прочности при растяжении, МПа	210	465	430	280
Относительное удлинение, %	6,2	28	20	9,4
Ударная вязкость, Дж/см ²	7,7	36	24,8	9,4
Твердость HV	280	305	330	420
Коррозионностойкость, мм/г	0,39	0,02	0,09	0,16

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее перспективными из рассмотренных для газопламенного напыления высокопрочных сплавов на железной основе являются сплавы 3 и 4 и коррозионностойких сплавов на железной основе являются сплавы 3 и 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы; справ, изд. / А.П. Шлямнев [и др]. - М.: «Проммет-сплав», 2008. – 336 с.
2. Братухин А.Г. Высокопрочные коррозионностойкие стали современной авиации / Науч.ред. А.Г. Братухин. - М.: Издательство МАИ, 2006. – 656 с.
3. Шлямнев А.П. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: Справ, изд. / А. П. Шлямнев. и др. - М.: "Интернет Инжиниринг", 2000. - 232 с.
4. Гиршов В.Л. Современные технологии в порошковой металлургии: учеб. пособие/ В.Л. Гиршов, С.А. Котов, В.Н. Цеменко; СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. - 385 с.