

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



(19) **ВУ** (11) **7312**

(13) **С1**

(46) **2005.09.30**

(51)⁷ **С 22С 38/46, 38/54**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(54) **ВЫСОКОПРОЧНЫЙ КОРРОЗИОННО-ИЗНОСОСТОЙКИЙ СПЛАВ**

(21) Номер заявки: а 20020833

(22) 2002.10.22

(43) 2004.06.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого" (ВУ)

(72) Авторы: Верещагин Михаил Николаевич; Карпенко Михаил Иванович; Карпенко Валерий Михайлович; Целуев Михаил Юрьевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого" (ВУ)

(56) RU 2004612 С1, 1993.

RU 2183690 С2, 2002.

RU 2166559 С2, 2001.

SU 1723191 А1, 1992.

JP 04-154913, 1992.

(57)

1. Высокопрочный коррозионно-износостойкий сплав, содержащий углерод, кремний, марганец, никель, хром, ванадий, молибден, азот, фосфор, серу и железо, **отличающийся** тем, что он дополнительно содержит титан, бор и алюминий при следующем соотношении компонентов, мас. %:

углерод	0,02-0,10
кремний	0,12-1,00
марганец	0,10-2,00
никель	2,61-30,50
хром	2,30-26,80
ванадий	0,13-6,10
молибден	0,05-2,30
азот	0,05-0,40
фосфор	0,05-2,10
сера	0,002-0,03
титан	0,51-1,21
бор	0,03-3,60
алюминий	0,002-2,70
железо	остальное.

2. Сплав по п. 1, **отличающийся** тем, что он дополнительно содержит 0,82-1,50 мас. % кобальта и 0,02-1,70 мас. % циркония.

Изобретение относится к области металлургии, в частности к высокопрочным коррозионно-износостойким сплавам на основе железа, используемым для изготовления литых износостойких деталей и профильных заготовок, работающих без дополнительных покрытий в условиях кавитационно-эрозионного и коррозионно-механического изнашивания.

ВУ 7312 С1 2005.09.30

ВУ 7312 С1 2005.09.30

Известен высокопрочный сплав на основе железа [1], содержащий, мас. %:

хром	12,00-32,00
никель	25,00-45,00
тантал	0,20-4,00
ниобий	0,01-2,00
ванадий	0,06-1,00
азот	0,05-0,50
углерод	до 0,20
железо и примеси	остальное.

Этот сплав при удовлетворительных характеристиках предела коррозионной усталости (170-250 МПа) плохо сопротивляется кавитационно-эрозионному и коррозионно-механическому изнашиванию.

Известен также коррозионно-износостойкий сплав на основе железа [2] следующего химического состава, мас. %:

углерод	0,04-0,08
кремний	1,75-2,50
марганец	1,50-2,50
хром	32,00-35,00
никель	5,00-7,00
молибден	2,50-3,50
кобальт	0,40-0,75
титан или ниобий	0,25-0,50
азот	0,30-0,40
церий	0,05-0,15
кальций	0,01-0,08
железо	остальное.

Этот сплав обеспечивает литым заготовкам аустенитно-мартенситную структуру и удовлетворительные характеристики прочности и износостойкости. Однако предел коррозионной усталости не превышает 200-230 МПа. Это обусловлено высоким содержанием кремния и хрома, которые укрупняют литое зерно и снижают служебные свойства сплава.

Наиболее близким к предложенному является высокопрочный коррозионно-износостойкий сплав [3], содержащий, мас. %:

углерод	до 0,10
кремний	до 1,00
марганец	до 2,00
никель	25,00-60,00
хром	22,50-35,00
ниобий и/или ванадий	0,50-4,00
молибден и/или вольфрам	до 7,50
азот	0,05-0,25
фосфор	до 0,03
сера	до 0,005
железо и примеси	остальное.

Известный сплав обладает следующими свойствами:

предел прочности при растяжении, МПа	650-750
предел коррозионной усталости, МПа	270-330
коррозионно-механический износ, $\times 10^{-9}$ мг/с	210-300
кавитационно-эрозионная стойкость, $\times 10^{-9}$ мг/м ² /с	170-240.

Недостатком известного сплава является низкий предел коррозионной усталости, а также недостаточная износостойкость, в частности, в условиях коррозионно-механического и кавитационно-эрозионного изнашивания.

ВУ 7312 С1 2005.09.30

Задачей настоящего изобретения является повышение предела коррозионной усталости и износостойкости.

Поставленная задача решается тем, что известный сплав, содержащий углерод, кремний, марганец, никель, хром, ванадий, молибден, азот, фосфор, серу и железо, согласно изобретению, дополнительно содержит титан, бор и алюминий при следующем соотношении компонентов, мас. %:

углерод	0,02-0,10
кремний	0,12-1,00
марганец	0,10-2,00
никель	2,61-30,50
хром	2,30-26,80
ванадий	0,13-6,10
молибден	0,05-2,30
азот	0,05-0,40
фосфор	0,05-2,10
сера	0,002-0,03
титан	0,51-1,21
бор	0,03-3,60
алюминий	0,002-2,70
железо	остальное.

При этом в вышеприведенный состав сплава дополнительно могут быть включены 0,82-1,50 мас. % кобальта и 0,02-1,70 мас. % циркония.

Введение в предлагаемый сплав 0,51-1,21 мас. % титана обусловлено его высокой легирующей способностью, существенным измельчением литого зерна и упрочняющим влиянием на дисперсионно-твердеющую металлическую основу, что способствует повышению износостойкости и предела коррозионной усталости. При увеличении концентрации титана более 1,21 мас. % повышаются его безвозвратные потери при плавке сплава и снижается стабильность кавитационно-эрозионных и коррозионных свойств. При концентрации титана менее 0,82 мас. % его легирующее и упрочняющее влияние на структуру и служебные свойства сплава проявляются незначительно.

Введение бора в предложенных концентрациях связано с его высокой эффективностью влияния на дисперсность структуры сложнолегированных сплавов и возможностью дополнительного их упрочнения нитридами и карбонитридами бора, что обеспечивает повышение прочности, износостойкости и предела коррозионной усталости. При содержании бора до 0,03 мас. % его микролегирующее влияние на структуру, прочностные и служебные свойства недостаточно. При увеличении концентрации бора более 3,60 мас. % снижаются технологические свойства и предел коррозионной усталости.

Алюминий (0,002-2,70 мас. %) введен в качестве основного раскисляющего и модифицирующего компонента, способствующего повышению и сохранению стабильности прочностных и служебных свойств. Его модифицирующий эффект начинает сказываться с концентраций более 0,002 мас. %. Повышение его концентрации более 2,70 мас. % увеличивает угар сплава, загрязняет границы литого зерна, что снижает технологические и служебные свойства.

Дополнительное введение кобальта (0,82-1,50 мас. %) обусловлено его высокой эффективностью влияния на упруго-пластические свойства, предел коррозионной усталости и стойкость против растрескивания под напряжением в коррозионной среде. Повышение концентрации кобальта более 1,50 мас. % снижает износостойкость, а при концентрации кобальта до 0,82 мас. % его влияние на технологические и служебные свойства незначительно.

Цирконий (0,02-1,70 мас. %) введен как эффективный нитридообразующий компонент, способствующий повышению стабильности прочностных и эксплуатационных свойств.

ВУ 7312 С1 2005.09.30

Его модифицирующее влияние начинает сказываться с концентрации 0,02 мас. %, но при увеличении концентрации более 1,70 мас. % отмечается загрязнение границ литого зерна, снижение технологических свойств и предела коррозионной усталости.

Повышение концентрации фосфора до 0,05-2,10 мас. % обусловлено образованием в структуре износостойких фосфидных эвтектик с карбидо- и нитридообразующими компонентами, что способствует повышению прочности, микротвердости и износостойкости при коррозионно-механическом и кавитационно-эрозионном изнашивании. При концентрации фосфора до 0,50 мас. % его влияние на структуру и свойства проявляется слабо, а при концентрации фосфора более 2,10 мас. % отмечается снижение технологических свойств и предела коррозионной усталости.

Содержание углерода, кремния и марганца на верхних пределах осталось без изменения, так как соответствует оптимальным концентрациям для обеспечения повышенных механических и служебных свойств. Ограничения содержания этих элементов на нижних пределах обусловлены ухудшением технологических свойств и предела коррозионной усталости при меньших концентрациях, а также усложнением процессов плавки, внепечной обработки и литья. Этими причинами обусловлен выбор содержания серы (0,002-0,03 мас. %). При увеличении концентрации серы более 0,03 мас. % сульфиды существенно снижают предел коррозионной усталости, технологические и служебные свойства сплава. При низкой концентрации марганца (до 0,10 мас. %) в структуре отмечается образование сульфидов никеля и железа, эвтектик типа Ni-NiS и Fe-FeS-Fe₃C, обладающих низкой износостойкостью.

Никель и хром в предложенном сплаве - основные легирующие компоненты, обеспечивающие в литых изделиях образование высокопрочной коррозионно- и износостойкой металлической основы с повышенными кавитационно-эрозионными и другими эксплуатационными свойствами. При этом хром оказывает сильное отбеливающее влияние на металлическую основу, существенно повышая характеристики прочности и износостойкости, начиная с концентрации 2,30 мас. %, а никель повышает содержание бейнитной составляющей в структуре, оказывая влияние в большей степени на упруго-пластические, коррозионные и кавитационно-эрозионные свойства, начиная с содержания никеля на нижнем пределе (2,61 мас. %). При концентрации хрома более 26,80 мас. % отмечается снижение упруго-пластических свойств и предела коррозионной усталости. Верхний предел содержания никеля (30,50 мас. %) обусловлен снижением прочности и износостойкости.

Молибден в количестве 0,05-2,30 мас. % способствует упрочнению металлической основы и повышению износостойкости сплава при сохранении предела коррозионной усталости на высоком уровне. При увеличении содержания молибдена более 2,30 мас. % отмечается снижение предела коррозионной усталости. При концентрации молибдена до 0,05 мас. % не проявляется стабильное влияние на структуру и эксплуатационные свойства.

Ванадий введен как эффективный легирующий компонент, упрочняющий и инвентурирующий металлическую основу, существенно повышая износостойкость. Увеличение содержания ванадия выше 6,10 мас. % обуславливает снижение технологической пластичности и предела коррозионной усталости. При снижении концентрации ванадия менее 0,03 мас. % снижаются характеристики прочности и износостойкости.

В сплаве увеличена концентрация азота до 0,40 мас. % ввиду дополнительного введения активных нитридообразующих компонентов (титана, алюминия, циркония и бора), что обеспечивает повышение склонности сплава к дисперсионному твердению и получению мелкодисперсной структуры, а также прочностных механических свойств. При увеличении концентрации азота более 0,40 мас. % отмечаются выделения нитридных включений по границам литого зерна, что снижает предел коррозионной усталости и упруго-пластические свойства сплава. При его концентрации до 0,05 мас. % дисперсность структуры и предел коррозионной усталости недостаточны.

ВУ 7312 С1 2005.09.30

Сплав выплавляли в электропечах типа ИСТ с использованием металлизированных окатышей, отходов электротехнических и других малоуглеродистых сталей, электролитического никеля Н1, малоуглеродистого феррохрома ФХ20, доменного феррофосфора ФФ4, ферромolibдена ФМо58, азотированных ферросплавов (ФМн75Н, ФБд75УО, ФТи30А10Н и ФХ003АН) и лигатур (ХНМо1 и ХА2). Для обезуглероживания и повышения качества расплава после рафинирования при температуре 1610-1650 °С проводили продувку расплава кислородом с целью снижения содержания углерода до 0,01-0,10 мас. %. Затем на зеркало металла вводили комплексный ферросплав ФТи30А10Н и лигатуру ХА2, выдерживали 1-3 мин и выпускали в стопорные разливочные ковши.

При плавке сплава, дополнительно содержащего кобальт и цирконий, кроме перечисленных видов шихтового материала использовали кобальт К2, ферроцирконий ФЦр30 и комплексный ферросплав ФАЦр18.

Сплав разливали фракционно на пробы и профильные заготовки, из которых изготавливали стандартные образцы (ГОСТ 7832) для механических испытаний и исследования структуры.

Химический состав сплавов определяли методом количественного микрорентгеноспектрального анализа [4] на анализаторе Нанолаб-7.

Предел коррозионной усталости определяли на круглых образцах типа У111 (ГОСТ 2860) при непрерывном смачивании рабочей части образца 10 %-ным раствором азотной кислоты, а стойкость против растрескивания под напряжением - в среде водного раствора сероводорода, подкисленного уксусной кислотой до рН 2,9, при постоянном растягивающем напряжении в 500 МПа и температуре 25 °С. Испытания на коррозионно-механический износ проводили на машине трения СМЦ-М, а интенсивность кавитационно-эрозионного изнашивания определяли на гидравлических установках с использованием магнитострикционных вибраторов и пульпы с абразивным материалом.

В таблице 1 приведены химические составы исследованных сплавов, а в таблице 2 - данные механических испытаний и результаты исследования триботехнических характеристик сплавов.

Как видно из таблицы 2, в предлагаемом сплаве предел коррозионной усталости увеличен на 10-39 %, коррозионно-механический износ снижен на 22-46 %, а кавитационно-эрозионная стойкость увеличена на 10-43 %. Кроме того, предел прочности при растяжении увеличен на 26-57 %, а стойкость против растрескивания под напряжением - на 5-20 %.

Источники информации:

1. Патент ФРГ 3903682, МПК С 22С 38/40, 1989.
2. А.с. СССР 1527315, МПК С 22С 38/58, 1988.
3. Заявка Японии 61-44120, МПК С 22С 38/52, 1986 (прототип).
4. Рентгеноспектральный и электронно-микроскопический методы исследования структуры и свойств материалов. - Мн.: Наука и техника, 1980. - С. 192.

Таблица 1

№ сплава	Содержание компонентов в сплаве, мас. % (железо- остальное)														
	углерод	кремний	марганец	никель	хром	ванадий	молибден	азот	фосфор	сера	титан	бор	алюминий	кобальт	цирконий
1 (известный)	0,07	0,60	0,90	47,00	25,00	1,70	1,30	0,30	0,03	0,004	-	-	-	-	-
2	0,02	0,12	0,10	2,61	26,80	0,13	30,50	0,05	2,10	0,002	0,51	3,60	0,002	-	-
3	0,07	0,53	1,30	25,20	17,00	3,30	1,50	0,20	1,10	0,01	0,87	1,80	0,73	-	-
4	0,10	1,00	2,00	30,50	2,30	6,10	2,30	0,40	0,05	0,03	1,21	0,03	2,70	-	-
5	0,02	0,12	0,10	2,61	26,80	0,13	0,05	0,05	2,10	0,002	0,51	3,60	0,002	0,82	0,02
6	0,07	0,57	1,50	25,20	17,00	3,30	1,50	0,20	0,90	0,03	0,77	1,50	0,42	1,10	0,91
7	0,10	1,00	2,00	30,50	2,30	6,10	2,30	0,40	0,05	0,03	1,21	0,03	2,70	1,50	1,70
8	0,02	0,12	0,10	2,61	32,00	0,13	0,08	0,05	2,10	0,002	0,51	3,60	0,002	-	-
9	0,02	0,12	0,50	2,61	37,00	0,13	0,08	0,05	2,10	0,002	0,51	3,60	0,002	1,50	1,70
10	0,13	1,20	2,30	32,00	2,30	6,30	2,30	0,40	0,08	0,03	1,21	0,03	2,70	-	-
11	0,12	1,23	2,20	31,00	27,00	6,10	2,30	0,40	0,03	0,03	1,21	0,03	2,70	0,82	0,02

Таблица 2

№ сплава	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел коррозионной усталости, МПа	Коррозионно-механический износ, $\times 10^{-9}$ мг/с	Кавитационно-эрозионная стойкость, $\times 10^{-9}$ мг/м ² /с	Стойкость против растрескивания под напряжением в коррозионной среде, $\times 10^{-9}$ с
1 (известный)	720	308	267	221	7920
2	910	360	178	152	8630
3	1020	412	156	139	9436
4	1052	427	147	128	9490
5	985	384	170	147	8712
6	1132	422	153	131	9532
7	996	430	142	124	9560
8	832	331	206	158	8321
9	851	339	196	151	8442
10	878	345	188	155	8495
11	902	352	186	153	8570