



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C22C 37/10 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019138677, 28.11.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.11.2019

Дата регистрации:  
28.04.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.11.2019

(45) Опубликовано: 28.04.2020 Бюл. № 13

Адрес для переписки:  
150023, г. Ярославль, Московский пр., 88,  
ФГБОУВО "ЯГТУ"

(72) Автор(ы):

Алов Виктор Анатольевич (RU),  
Епархин Олег Модестович (RU),  
Карпенко Михаил Иванович (BY),  
Карпенко Валерий Михайлович (BY),  
Попков Александр Николаевич (RU),  
Дударева Мария Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Ярославский государственный  
технический университет" ФГБОУВО  
"ЯГТУ" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2611624 C1, 28.02.2017. RU  
2581542 C1, 20.04.2016. RU 2212467 C2,  
20.09.2003. US 2010284849 A1, 11.11.2010. US  
9132478 B2, 15.09.2015. JP 5768947 B2, 26.08.2015.  
JP 60-247037 A, 06.12.1985. JP 61-026754 A,  
06.02.1986.

(54) Высокопрочный легированный антифрикционный чугун

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии, в частности к высокопрочным антифрикционным чугунам, и может использоваться для изготовления литых деталей цилиндропоршневой группы двигателей, работающих в условиях трения в газовых средах. Чугун содержит, мас. %: углерод 3,1-3,6; кремний 2,0-2,5; марганец 0,3-0,7; никель 2,0-3,6; молибден 1,2-2,5; медь 0,6-1,5;

хром 0,02-0,06; магний 0,02-0,03; церий 0,03-0,05; ванадий 0,52-1,15; титан 0,03-0,22; барий 0,03-0,06; бор 0,01-0,03; цирконий 0,05-0,12; олово 0,002-0,005 и железо - остальное. Обеспечивается повышение коррозионной усталости в газовых средах, предельного режима работы при трении, износостойкости и антифрикционных свойств. 2 табл.

RU 2 720 271 C1

RU 2 720 271 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C22C 37/10 (2020.02)*

(21)(22) Application: **2019138677, 28.11.2019**

(24) Effective date for property rights:  
**28.11.2019**

Registration date:  
**28.04.2020**

Priority:

(22) Date of filing: **28.11.2019**

(45) Date of publication: **28.04.2020** Bull. № 13

Mail address:  
**150023, g. Yaroslavl, Moskovskij pr., 88,  
FGBOUVO "YAGTU"**

(72) Inventor(s):

**Alov Viktor Anatolevich (RU),  
Eparkhin Oleg Modestovich (RU),  
Karpenko Mikhail Ivanovich (BY),  
Karpenko Valerij Mikhajlovich (BY),  
Popkov Aleksandr Nikolaevich (RU),  
Dudareva Mariya Ivanovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Yaroslavskij gosudarstvennyj  
tehnicheskij universitet" FGBOUVO "YAGTU"  
(RU)**

(54) **HIGH-STRENGTH ALLOYED ANTIFRICTION CAST IRON**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy, in particular, to high-strength antifriction cast irons, and can be used for production of cast parts of cylinder-piston group of engines operating under conditions of friction in gaseous media. Cast iron contains, wt%: carbon 3.1–3.6; silicon 2.0–2.5; manganese 0.3–0.7; nickel 2.0–3.6; molybdenum 1.2–2.5; copper 0.6–1.5;

chromium 0.02–0.06; magnesium 0.02–0.03; cerium 0.03–0.05; vanadium 0.52–1.15; titanium 0.03–0.22; barium 0.03–0.06; boron 0.01–0.03; zirconium 0.05–0.12; tin 0.002–0.005, and iron – the rest.

EFFECT: higher corrosion fatigue in gaseous media, limit operating conditions in friction, wear resistance and antifriction properties.

1 cl, 2 tbl

RU 2 720 271 C 1

RU 2 720 271 C 1

Изобретение относится к области металлургии, в частности, к высокопрочным легированным антифрикционным чугунам для литых деталей цилиндропоршневой группы двигателей, работающим в условиях трения в газовых средах.

Известен высокопрочный легированный антифрикционный чугун АЧВ-2 (ГОСТ 1585-85). Этот чугун имеет в отливках перлитно-ферритную структуру, низкий предельный режим работы в условиях трения (3-12 МПа·м/с) и недостаточные характеристики предела выносливости (150-170 МПа), твердости (167-197 НВ), износостойкости и эксплуатационной стойкости в условиях трения в газовых средах.

Известен также высокопрочный легированный чугун для отливок со специальными свойствами ЧНДХМШ (ГОСТ 7769-82, табл. 2, с. 4). Он обладает высокой прочностью (не менее 600 МПа), однако характеризуется низкими антифрикционными и упруго-пластическими свойствами. Этот легированный чугун с шаровидным графитом имеет недостаточную ударную вязкость (21-30 Дж/см<sup>2</sup>). Литые детали из этого чугуна не обеспечивают длительной эксплуатационной стойкости при трении в газовых средах.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому эффекту к предложенному является высокопрочный легированный антифрикционный чугун (Патент RU №2611624, С 22 С 37/10, 2017, прототип) следующего химического состава, мас. %:

20	Углерод	3,1-3,6
	Кремний	2,0-2,5
	Марганец	0,8-1,2
	Никель	0,7-1,5
	Молибден	0,2-0,4
	Хром	0,02-0,06
25	Медь	0,6-1,5
	Магний	0,02-0,03
	Церий	0,03-0,05
	Ванадий	0,07-0,55
	Титан	0,03-0,22
	Барий	0,03-0,06
30	Бор	0,01-0,03
	Железо	Остальное

#### Механические и эксплуатационные свойства известного чугуна:

35	Временное сопротивление, МПа	770-782
	Предел текучести, МПа	288-312
	Коэффициент трения	0,37-0,41
	Предел выносливости, МПа	222-235
	Износостойкость при сухом трении, мкм/км	0,15-0,21
40	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	30-35
	Предельный режим работы при трении, МПа·м/с	28-32
	Предел коррозионной усталости в газовых средах, МПа	375-390

Известный чугун содержит недостаточное количество легирующих элементов и обладает недостаточными упруго-пластическими, антифрикционными и эксплуатационными свойствами. Недостатком известного чугуна являются низкие характеристики предела коррозионной усталости в газовых средах, трещиностойкости и предельного режима работы при трении.

Задача изобретения - повышение предела коррозионной усталости чугуна в газовых средах и предельного режима работы при трении и снижение коэффициента трения.

Поставленная задача решается тем, что высокопрочный легированный антифрикционный чугун, содержащий углерод, кремний, марганец, никель, молибден, медь, хром, магний, церий, ванадий, титан, барий, бор и железо, дополнительно содержит цирконий и олово при следующем соотношении компонентов, мас. %:

5	Углерод	3,1-3,6
	Кремний	2,0-2,5
	Марганец	0,3-0,7
	Никель	2,0-3,6
	Молибден	1,2-2,5
10	Медь	0,6-1,5
	Хром	0,02-0,06
	Магний	0,02-0,03
	Церий	0,03-0,05
	Ванадий	0,52-1,15
	Титан	0,03-0,22
15	Барий	0,03-0,06
	Бор	0,01-0,03
	Цирконий	0,05-0,12
	Олово	0,002-0,005
	Железо	Остальное

20 Существенными отличиями предложенного чугуна являются дополнительное введение в его состав эффективного легирующего компонента - циркония, перлитизирующей добавки - олова и повышение содержания легирующих и аустенизирующих компонентов (молибдена 1,2-2,5, ванадия 0,52-1,15 и никеля 2,0-3,6), что существенно повышает дисперсность и стабильность структуры, износостойкость, предел выносливости, антифрикционные свойства и предел коррозионной усталости чугуна в газовых средах.

25 Проведенный анализ предложенного технического решения показал, что на данный момент не известны технические решения, в которых были бы отражены эти отличия. Кроме того, они являются необходимыми и достаточными для достижения положительного эффекта, указанного в задаче изобретения. Это позволяет сделать вывод о том, что данные отличия являются существенными.

30 Дополнительное введение циркония 0,05-0,12 обусловлено тем, что он является эффективной графитизирующей, упрочняющей и микролегирующей добавкой, повышающей стабильность, однородность и дисперсность структуры, предел коррозионной усталости в газовых средах, предел выносливости, антифрикционные и упруго-пластические свойства чугуна. При содержании циркония до 0,05% 35 износостойкость, предел выносливости и антифрикционные свойства недостаточны. А при увеличении его концентрации более 0,12% увеличивается неоднородность структуры, остаточные термические напряжения и снижаются характеристики эксплуатационной стойкости, удароустойчивости и упруго-пластических свойств.

40 Олово введено в количестве 0,002-0,005% как перлитизирующая добавка, повышающая дисперсность структуры и обеспечивающая увеличение предела выносливости. При содержании олова менее 0,002% снижаются его перлитизирующая способность, однородность и дисперсность структуры, а при увеличении содержания олова более 0,005% снижаются пластические и антифрикционные свойства и износостойкость

45 Уменьшение концентрации марганца до 0,3-0,7% обусловлено его высоким влиянием на трещиностойкость чугуна, снижение его технологических и антифрикционных свойств. При повышении концентрации марганца более 0,7% снижаются предел выносливости, износостойкость и трещиностойкость, а при снижении концентрации марганца менее 0,3% повышается содержание в структуре свободного графита, что

уменьшает механические и эксплуатационные характеристики чугуна.

Титан введен как графитизирующая и микролегирующая добавка, повышающая дисперсность структуры и содержание в ней перлита и графита и обеспечивающая увеличение износостойкости, предела выносливости, стабильности коэффициента трения и эксплуатационных свойств чугуна в отливках. При содержании его менее 0,03% снижаются графитизирующий и микролегирующий эффекты, а стабильность структуры и антифрикционные свойства недостаточны, а при содержании более 0,22% снижаются, предел выносливости, износостойкость и трещиностойкость.

Барий в количестве 0,03-0,06% модифицирует расплав и очищает границы зерен, обеспечивает сфероидизацию структурных составляющих и повышение износостойкости и стабильности антифрикционных свойств. При концентрации его более 0,06% снижаются предел выносливости, износостойкость и механические свойства, а при содержании бария до 0,03% износостойкость и антифрикционные свойства недостаточны.

Введение бора до 0,01-0,03% обусловлено улучшением и сокращением режима термообработки чугуна, что существенно повышает стабильность, однородность и дисперсность структуры, упруго-пластические свойства. Он снижает коэффициент трения. При концентрации его менее 0,01% предел коррозионной усталости, износостойкость и предел выносливости низкие, а при увеличении содержания бора более 0,03% снижаются пластические свойства, повышается коэффициент трения.

Содержание углерода (3,1-3,6%) и кремния (2,0-2,5%) принято исходя из опыта производства высокопрочных антифрикционных чугунов для отливок преимущественно с мелкозернистой перлитной структурой в литом состоянии, с высокими характеристиками механических свойств, износостойкости и антифрикционных свойств в условиях трения. При увеличении концентраций углерода и кремния соответственно выше 3,6 и 2,5% в структуре повышается содержание феррита и свободного графита, что снижает характеристики прочности, твердости, предела выносливости, износостойкости и антифрикционных свойств. При снижении их концентрации соответственно ниже 3,1 и 2,0% повышаются остаточные термические напряжения в отливках и содержание аустенита и цементита в структуре, что снижает пределы выносливости и текучести, трещиностойкость и удароустойчивость.

Содержание магния, являющегося основной сфероидизирующей графит модифицирующей добавкой, принято в количестве 0,02-0,03% с целью повышения износостойкости, предела выносливости и снижения коэффициента трения. При снижении содержания магния до 0,02% в структуре шаровидного графита не образуется и механические и антифрикционные свойства низкие. При концентрации магния более 0,03% снижаются стабильность и однородность структуры, что повышает термические напряжения в отливках и уменьшает характеристики предела выносливости и антифрикционных свойств.

Содержание церия увеличено до 0,03-0,05%, это способствует повышению антифрикционных свойств и износостойкости и соответствует концентрациям по общепринятым нормам в двигателестроении при производстве литых деталей цилиндропоршневой группы из высокопрочных чугунов с вермикулярным (компактным) графитом. При концентрации церия более 0,05% повышаются его безвозвратные потери (угар), неоднородность структуры и снижаются механические свойства чугуна.

Медь, никель, молибден, ванадий и хром являются основными легирующими компонентами высокопрочных чугунов, обеспечивающие высокие характеристики прочности, предела коррозионной усталости в газовых средах, износостойкости, пределов выносливости и усталости, но оказывающие неоднозначное влияние на упруго-

пластические и антифрикционные свойства. Поэтому их концентрация в предложенном чугуна принята с учетом их влияния на эти свойства.

Медь является перлитизирующим структуру компонентом, повышающем антифрикционные свойства и предел выносливости. При ее содержании в количестве от 0,6 до 1,5% обеспечивается существенное повышение износостойкости, предела выносливости и антифрикционных свойств. При снижении концентрации меди менее 0,6% антифрикционные свойства недостаточны, а при увеличении ее содержания более 1,5% снижаются характеристики износостойкости и трещиностойкости.

Содержание никеля в чугуна повышено до концентрации 2,0-3,6%, так как при концентрации никеля менее 2,0% дисперсность структуры, предел выносливости и эксплуатационные свойства недостаточны. При содержании более 3,6% снижаются антифрикционные и эксплуатационные свойства, увеличиваются неоднородность структуры, склонность к трещинам и нестабильность коэффициента трения.

Хром в количестве от 0,02 до 0,06%, ванадий (0,52-1,15%) и молибден (1,2-2,5%) повышают твердость, предел коррозионной усталости в газовых средах, предел выносливости и износостойкость чугуна в отливках. Однако при увеличении концентрации хрома, ванадия и молибдена соответственно более 0,06%, 1,15% и 2,5% повышается содержание в структуре цементита и карбидов и снижаются антифрикционные и упруго-пластические свойства в отливках и удлиняется режим термообработки. При их концентрации менее нижних пределов прочность, предел коррозионной усталости в газовых средах, износостойкость и предел выносливости существенно снижаются.

Опытные плавки чугунов проводят в индукционных тигельных печах с использованием рафинированных чушковых чугунов, стального лома 1А, чугуна лома 17А, никеля НЗ, меди М2, ферромарганца ФМн 78, феррованадия ФВд50У0,5, ферромolibдена, олова, ферроциркония, ферротитана и других ферросплавов. Микролегирование никелем, медью, ферроцирконием, ферромарганцем, ферробором и ферротитаном производят после рафинирования расплава в печи, а модифицирование - в ковше с использованием никель - магниевой лигатуры, олова, силикобария и ферроцерия. Для определения свойств чугуна заливают решетчатые, звездообразные и ступенчатые технологические пробы, отливки и образцы для механических испытаний.

В табл. 1 приведены химические составы чугунов опытных плавков.

Определение прочностных свойств чугунов проводят по ГОСТ 1497-84 на образцах диаметром 14 мм с расчетной длиной 70 мм, трещиностойкость - на звездообразных 250 мм технологических пробах высотой 140 мм, а предел коррозионной усталости в газовых средах - на стандартных образцах при испытании на базе 10 циклов.

Термические напряжения определяли на решетчатых технологических пробах.

Металлографические исследования и анализ структурных составляющих проводят в соответствии с ГОСТ 3443-87. В табл. 2 приведены механические, антифрикционные и эксплуатационные свойства высокопрочных легированных чугунов опытных плавков в отливках, образцах и технологических пробах.

Как видно из табл. 2, предложенный чугун имеет более высокие характеристики предела коррозионной усталости в газовых средах, предельного режима работы при трении, износостойкости и антифрикционных свойств, чем известный.

45

**Таблица 1 - Химические составы чугунов опытных плавок**

Компоненты	Содержание компонентов, мас. %, (железо – остальное), в чугуне состава					
	1(Извест.)	2	3	4	5	6
Углерод	3,2	2,5	3,1	3,3	3,6	3,8
Кремний	2,1	1,7	2,0	2,1	2,5	2,7
Марганец	1,3	0,2	0,3	,0,5	0,7	1,1
Никель	1,2	1,2	2,0	2,4	3,6	3,9
Молибден	0,2	0,52	1,2	1,42	2,5	3,1
Хром	0,05	0,01	0,02	0,03	0,06	0,1
Медь	2,1	0,3	0,6	1,12	1,5	1,7
Магний	0,03	0,01	0,02	0,022	0,03	0,04
Церий	0,04	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
Ванадий	0,4	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07
Титан	0,15	0,01	0,03	0,16	0,22	0,25
Барий	0,04	0,02	0,03	0,05	0,06	0,09
Бор	0,03	0,003	0,01	0,02	0,03	0,07
Цирконий	-	0,02	0,05	0,08	0,12	0,16
Олово	-	0,001	0,002	0,004	0,005	0,007

**Таблица 2 – Механические, антифрикционные и эксплуатационные свойства высокопрочных легированных чугунов опытных плавок в отливках, образцах и технологических пробах**

Свойства чугунов	Показатели для составов чугуна					
	1(Изв.)	2	3	4	5	6
Временное сопротивление, МПа	775	805	850	862	856	822
Твёрдость, НВ	248	253	240	245	242	248
Предельный режим работы при трении, МПа· м/с	31	28	35	38	41	32
Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	32	36	40	44	38	35
Предел выносливости, МПа	227	231	246	257	249	232
Предел текучести, МПа	305	292	338	352	347	281
Предел коррозионной усталости в газовых средах, МПа	380	373	405	420	425	392
Коэффициент трения	0,41	0,36	0,30	0,28	0,31	0,35
Склонность к трещинообразованию (количество трещин в пробе)	1,0	1,2	0,2	0,5	1,0	1,5

(57) Формула изобретения

Высокопрочный легированный антифрикционный чугун, содержащий углерод, кремний, марганец, никель, молибден, медь, хром, магний, церий, ванадий, титан, барий, бор и железо, отличающийся тем, что он дополнительно содержит цирконий и олово при следующем соотношении компонентов, мас. %:

	углерод	3,1-3,6
	кремний	2,0-2,5
	марганец	0,3-0,7
	никель	2,0-3,6
	молибден	1,2-2,5
5	медь	0,6-1,5
	хром	0,02-0,06
	магний	0,02-0,03
	церий	0,03-0,05
	ванадий	0,52-1,15
	титан	0,03-0,22
10	барий	0,03-0,06
	бор	0,01-0,03
	цирконий	0,05-0,12
	олово	0,002-0,005
	железо	остальное.
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		