

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **043900**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.07.04

(51) Int. Cl. **C22C 37/04 (2006.01)**
C22C 37/10 (2006.01)

(21) Номер заявки
202290785

(22) Дата подачи заявки
2022.02.25

(54) ВЫСОКОПРОЧНЫЙ И ПЛАСТИЧНЫЙ ЧУГУН С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

(43) **2023.06.29**

(56) BY-C1-15617
WO-A2-2006072663
JPS-A-60121253
RU-C1-2112073

(96) **2022/EA/0010 (BY) 2022.02.25**
(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (БГУ) (BY)**

(72) Изобретатель:
**Сосновский Леонид Адамович,
Богданович Александр
Вальдемарович, Щербаков Сергей
Сергеевич, Комиссаров Виктор
Владимирович (BY)**

(57) Изобретение относится к металлургии, в частности к разработке составов высокопрочных чугунов, которые могут быть использованы для изготовления высоконагруженных трибофатических систем (например, тяжело нагруженных элементов машин и оборудования, деталей подвижного состава, локомотивных и вагонных колес, рельсов, зубчатых колес, режущих ножей, элементов верхнего строения железнодорожного пути и т.д.), работающих в условиях комплексного износоусталостного повреждения. Изобретение направлено на решение задачи, заключающейся в разработке состава чугуна с шаровидной формой графита, позволяющего получать высокие значения механических свойств (прочность и пластичность, твердость), необходимые для трибофатических систем, работающих в тяжелых условиях эксплуатации при повторно-переменных нагрузках, трении и изнашивании. Поставленная задача решается тем, что высокопрочный и пластичный чугун с шаровидным графитом, содержащий углерод, кремний, марганец, медь, никель, молибден, хром, титан, магний и железо, содержит компоненты в следующем соотношении, мас. %: углерод 2,6-3,2; кремний 1,5-3,0; марганец 0,1-0,45; никель 0,3-0,8; молибден 0,3-1,0; медь 0,9-1,4; хром 0,04-0,07; титан 0,01-0,02; магний 0,02-0,08; железо - остальное. В качестве примесей в чугуне могут присутствовать сера и фосфор.

B1**043900****043900****B1**

Изобретение относится к металлургии, в частности к разработке составов высокопрочных чугунов, которые могут быть использованы для изготовления высоконагруженных трибофатических систем (например, тяжело нагруженных элементов машин и оборудования, деталей подвижного состава, локомотивных и вагонных колес, рельсов, зубчатых колес, режущих ножей, элементов верхнего строения железнодорожного пути и т.д.), работающих в условиях комплексного износоусталостного повреждения.

Известен высокопрочный чугун с шаровидным графитом [1], предназначенный для получения отливок, обладающих в исходном состоянии высокой пластичностью (относительное удлинение до 22%), содержащий, мас.% 2,7-3,8 C; 2,1-2,9 Si; 0,15-0,45 Mn; 0,1-0,35 Cu; 0,4-1,0 Ni; 0,03-0,08 Mg; Fe - ост.

Недостатком данного чугуна являются низкие значения предела прочности (до 550 МПа).

Известен также высокопрочный чугун, который рекомендуется использовать при изготовлении чугунных деталей, работающих в условиях повторно-переменных нагрузок [2], содержащий, мас.% 3,2-3,6 C; 1,8-2,5 Si; 0,1-0,4 Mn; 0,5-0,8 Cu; 0,6-0,8 Ni; 0,01-0,015 Mg; 0,06-0,1 Ca; 0,03-0,06 PЗМ; 0,02-0,10 Zr; 0,02-0,1 Ba; Fe - ост.

Предел выносливости при изгибе для данного чугуна составляет 260 МПа. Однако отсутствует информация о его прочностных свойствах и сопротивлении контактной усталости (при трении качения).

Наиболее близким к предлагаемому чугуну по технической сущности и достигаемому техническому эффекту является чугун с шаровидным графитом и высоким сопротивлением усталости [3], содержащий, мас.%: 3,5-3,7 C; 2,5-2,8 Si; 0,2-0,3 Mn; 1,1-1,3 Cu; 0,5-0,6 Ni; 0,4-0,6 Mo; 0,01-0,02 Ti; 0,03-0,07 Mg; Fe - ост.; в качестве примесей допускаются хром, сера и фосфор. Достоинство и особенность чугуна с шаровидным графитом и высоким сопротивлением усталости (прототипа) состоит в том, что в области высокопрочных состояний (предел прочности $\sigma_b > 950$ МПа) при увеличении прочности пластичность этого чугуна также растет, т.е. его хрупкость уменьшается. Характерная для известных чугунов [4] зависимость рост прочности - падение пластичности для него не соблюдается. Однако диапазон изменения пластических свойств и их рост с увеличением прочности у прототипа является недостаточным для ряда трибофатических систем, особенно тех, работоспособность которых оценивается по критерию трещиностойкости.

Предлагаемое изобретение направлено на решение задачи, заключающейся в разработке состава чугуна с шаровидной формой графита, позволяющего получать высокие значения механических свойств (прочность и пластичность, твердость), необходимые для трибофатических систем, работающих в тяжелых условиях эксплуатации при повторно-переменных нагрузках, трении и изнашивании.

Поставленная задача решается тем, что высокопрочный и пластичный чугун с шаровидным графитом, содержащий углерод, кремний, марганец, медь, никель, молибден, хром, титан, магний и железо, содержит компоненты в следующем соотношении, мас. %:

Углерод	2,6 – 3,2
Кремний	1,5 – 3,0
Марганец	0,1 – 0,45
Никель	0,3 – 0,8
Молибден	0,3 – 1,0
Медь	0,9 – 1,4
Хром	0,04 – 0,07
Титан	0,01 – 0,02
Магний	0,02 – 0,08
Железо	– остальное.

В качестве примесей в чугуне могут присутствовать сера и фосфор.

Принятые интервалы содержания компонентов и выбор такого их сочетания обеспечивают возможность стабильного получения указанного технического результата.

В составе чугуна компоненты проявляют себя следующим образом. Концентрации основных компонентов: углерода (2,6-3,2%) и кремния (1,5-3,0%) - способствуют повышению сопротивления усталости при изгибе и контактном нагружении, при обеспечении высоких прочностных свойств чугуна. Марганец (0,1-0,45%) повышает количество перлита и обеспечивает необходимое соотношение временного сопротивления при растяжении и относительного удлинения. Введение никеля (0,3-0,8%) и меди (0,9-1,4%) способствует стабилизации аустенита, что приводит к повышению количества остаточного аустенита в конечной структуре. Никель неограниченно растворяется в железе и снижает растворимость углерода в чугуне, т.е. способствует графитизации. Медь также уменьшает или предотвращает образование феррита и препятствует появлению структурно-свободного цементита в тонких сечениях отливок. Хром (0,04-0,07%) способствует значительному уменьшению количества графитовых включений и их измельчению, предотвращению отбела. Молибден способствует улучшению механических свойств чугуна, при этом повышается его износостойкость без проявления отбела. Одновременное легирование молибденом (0,3-1,0%) в указанных соотношениях с никелем и медью обеспечивает повышение пластичности (относительное удлинение до 6%) с ростом прочности (до 1600 МПа), а также повышению сопротивления материала развитию трещин. С целью улучшения эксплуатационных свойств отливок и пластических свойств чугуна в литом состоянии он дополнительно легируется титаном (0,01-0,02%) (при этом происходит измельчение феррита).

В чугунах присутствуют технологические примеси серы и фосфора (они могут находиться в исходном сырье, используемом в качестве шихты). В принятых диапазонах эти примеси не оказывают решающего влияния на механические свойства чугуна.

Химический состав чугуна подобран таким образом, что необходимая структура может быть получена уже в литом состоянии, но его основные механические свойства и микроструктура обеспечиваются путем аустенизации при температуре в пределах 850-900°C и изотермической выдержки при температурах 200-550°C.

Химические составы прототипа и предлагаемого чугуна представлены в табл. 1.

Таблица 1

Чугун	Химический состав, масс. %											
	C	Si	Mn	Cu	Ni	Mo	Ti	Cr	Mg	S	P	Fe
предлагаемый	2,6-3,2	1,5-3,0	0,1-0,45	0,9-1,4	0,3-0,8	0,3-1,0	0,01-0,02	0,04-0,07	0,02-0,08	0,01-0,02	0,004-0,08	ост.
прототип	3,5-3,7	2,5-2,8	0,2-0,3	1,1-1,3	0,5-0,6	0,4-0,6	0,01-0,02	0,02-0,06	0,03-0,07	0,01-0,015	0,004-0,08	ост.

Предлагаемый чугун получают одним из известных способов литья (отливка в песчаные формы, центробежное литье и др.), температура нагрева до 1500°C.

Для получения пробной плавки в индукционную печь загружают ферромolibден (FeMo), ферросилиций (FeSi), ферромарганец (FeMn), графит гранулированный, сталь, чугун в чушках в соответствующих пропорциях. Производят нагрев печи до полного расплавления компонентов и измерение температуры в ней. При этом максимальная температура составляет 1450°C. Полученный высокопрочный чугун из печи переливают в разливной ковш, а затем возвращают обратно в печь, при этом добавляют возврат, подогревают и измеряют температуру в печи. Из печи берут пробу чугуна в кокиль. С помощью спектрометра определяют ее химический состав. Затем в индукционную печь загружают следующие легирующие элементы: FeMo, Ni, Cu.

Установлено, что основные механические свойства предлагаемого чугуна могут варьироваться в следующих интервалах: предел прочности σ_b от ~900 до ~1600 МПа, относительное удлинение δ от 1,5 до 6,0%, твердость от 37 до 58 HRC. Механические свойства определяли по стандартным методикам. Сравнение известного и предлагаемого чугунов по механическим свойствам приведено в табл. 2.

Таблица 2

Чугун	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение δ , %	Твердость HRC
предлагаемый	900...1600	1,5...6,0	37...58
прототип	800...1400	2,0...4,5	35...52

Техническим результатом, как видно из данных табл. 2, является увеличение диапазона изменения механических свойств, особенно прочности и пластичности, у предлагаемого чугуна по сравнению с прототипом, что позволит использовать новый чугун для трибофатических систем, работающих в тяжелых условиях эксплуатации при повторно-переменных нагрузках, трении и изнашивании.

Источники информации

1. Патент Российской Федерации № RU 2 112 073, МПК C22 C37/10, опубл. 27.05.1998 г.
2. Авторское свидетельство СССР № 1458416, МПК C22 C37/10, опубл. 15.02.1989 г.
3. Патент Республики Беларусь № BY 15617, МПК C22 C37/04, опубл. 04.10.2010 г.
4. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом и высоким сопротивлением усталости. Марки и механические свойства (Стандарт Беларуси). СТБ 2544-2019. - Минск: Госстандарт, 2019. - 21 с.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Высокопрочный и пластичный чугун с шаровидным графитом, содержащий углерод, кремний, марганец, медь, никель, молибден, хром, титан, магний и железо, отличающийся тем, что он содержит компоненты в следующем соотношении, мас. %: углерод 2,6-3,2; кремний 1,5-3,0; марганец 0,1-0,45; никель 0,3-0,8; молибден 0,3-1,0; медь 0,9-1,4; хром 0,04-0,07; титан 0,01-0,02; магний 0,02-0,08; железо - остальное.

2. Чугун по п.1, отличающийся тем, что в качестве примесей содержит серу и фосфор.

