



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГИИТ СССР

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1  
(21) 4328206/31-02  
(22) 17.11.87  
(46) 07.11.89. Бюл. № 41  
(71) Белорусский политехнический институт  
(72) Д.Н.Худокормов, В.М.Королев, С.Н.Леках, В.М.Михайловский, В.А.Гольдштейн, В.Ф.Дурандин, А.Г.Галков, Н.И.Бестужев, А.В.Железнов и М.М.Бондарев  
(53) 669.15-196 (088.8)  
(56) Авторское свидетельство СССР № 985120, кл. С 22 С 37/04, 1982.  
Авторское свидетельство СССР № 1097705, кл. С 22 С 37/10, 1982.

2  
(54) ЧУГУН  
(57) Изобретение относится к металлургии и может использоваться при производстве отливок из высококачественного чугуна. Цель изобретения - повышение в термообработанном состоянии динамической прочности и работы зарождения трещин в интервале от +20 до -60°С. Новый чугун содержит, мас. %: С 3,2-3,6; Si 2,1-2,7; Mn 0,2-0,6; Cr 0,02-0,1; Cu 0,005-0,1; Mg 0,03-0,06; Ca 0,005-0,02; Al 0,005-0,01; PЗМ 0,01-0,03; N 0,005-0,01; V 0,01-0,06; Ni 0,01-0,1; Fe остальное. Дополнительный ввод в состав чугуна Ni позволяет повысить динамическую прочность в 1,05-1,1 раза и увеличить работу зарождения трещин в 1,1-1,2 раза. 2 табл.

Изобретение относится к металлургии, в частности к разработке составов чугуна для машин и механизмов, работающих в суровых климатических условиях (до -60°С).

Цель изобретения - повышение в термообработанном состоянии динамической прочности и работы зарождения трещин в интервале от +20 до -60°С.

Выбор граничных пределов содержания компонентов в чугуне предлагаемого состава обусловлен следующим.

Показателями, характеризующими эксплуатационную надежность литых деталей, работающих при ударных нагрузках и низких температурах, являются динамическая прочность и работа зарождения трещин. Динамическая проч-

ность характеризует максимальные напряжения, возникающие в литых деталях при кратковременном приложении нагрузки.

Работа зарождения трещин при ударном нагружении наиболее достоверно оценивает способность материала противостоять разрушающим напряжениям до развития магистральной трещины и полного разрушения образца. Анализ осциллограмм разрушения показывает, что ударная вязкость характеризует полную работу удара, отнесенную к единице площади сечения образца и складывается из работы зарождения ( $KC_3$ ) и работы распространения трещин ( $KC_p$ ). Последняя характеристика в чугунах с шаровидной формой графита, в от-

личие от сталей, в меньшей степени определяет способность материала противостоять разрушению при уже создавшейся трещине. Поэтому оценка материала с помощью динамической прочности и работы зарождения трещин является более реальной, отражающей условия работы литых деталей.

Ввод в состав сплава азота и ванадия способствует упрочнению  $\alpha$ -твердого раствора за счет образования нитридов и карбонитридов ванадия, равномерно распределенных в металлической основе. Кроме того, ванадий повышает дисперсность продуктов распада аустенита и вследствие этого после ферритизирующего отжига измельчает зерно феррита. При снижении температуры испытаний (до  $-60^{\circ}\text{C}$ ) не происходит существенного искажения кристаллической решетки  $\alpha$ -твердого раствора — динамическая прочность и работа зарождения трещин повышаются.

Нижний предел содержания азота в чугунах (0,005 мас.%) установлен минимальным его количеством, необходимым для образования карбонитридов ванадия, упрочняющих сплав. Верхнее содержание (0,01 мас.%) определено исходя из ограниченной растворимости азота в жидких железоуглеродистых сплавах.

Нижний предел содержания ванадия в чугунах (0,01–0,06 мас.%) установлен исходя из достаточного упрочнения матрицы и измельчения зерна  $\alpha$ -твердого раствора, а верхний — усилением карбидообразующего действия и увеличением продолжительности ферритизирующего отжига.

Снижение содержания кремния до 2,7 мас.% по верхнему пределу значительно уменьшает микроликвационную неоднородность сплава. Так, при содержании в чугунах 2,8 мас.% и выше микроанализом установлено наличие повышенного содержания Si в участках, примыкающих к графитным включениям. Микроликвация кремния при снижении температуры испытаний до  $-60^{\circ}\text{C}$  усиливает искаженность кристаллической решетки  $\alpha$ -твердого раствора и приводит к хрупкому разрушению.

РЗМ в составе чугуна (0,01–0,03 мас.% связывает  $\text{O}_2$  и S в неметаллические включения и изменяет топографию их расположения, вытесняя с границ зерен и переводя последние

непосредственно внутрь зерна. В результате очищения границ зерен повышаются силы молекулярно-механического сцепления, обеспечивая при низких температурах повышение динамической прочности и работы зарождения трещин.

Снижение верхнего предела содержания алюминия в чугунах до 0,01 мас.% связано при повышенных его концентрациях вследствие достижения предела растворимости с повышенной склонностью чугуна к окислению и пленкообразованию. Это приводит к нарушению сплошности металлической основы сплава и преждевременному хрупкому разрушению.

**Пример.** Выплавка чугуна предлагаемого состава может осуществляться как в дуговой, так и в индукционной тигельной печах (в конкретном примере использована высококачественная тигельная индукционная).

В качестве шихтовых материалов используют литейные чугуны, отходы стали, возврат собственного производства, ферросплавы и специальные присадки. Получение необходимой концентрации по углероду в чугунах достигается варьированием состава металлозавалки. Доводку по содержанию кремния, марганца, хрома осуществляют присадкой в завалку ферросилиция, ферромарганца, азотированного феррохрома. Содержание ванадия в составе чугуна достигают с помощью феррованадия. РЗМ вводят в виде микшметалла. Сфероидизирующую обработку производят при  $1400^{\circ}\text{C}$  лигатурой в реакционной камере литейной формы.

Пробы для изготовления образцов на механические испытания отливают в сырые песчано-глинистые формы, которые подвергают двухстадийному ферритизирующему отжигу по следующему режиму: нагрев до  $940^{\circ}\text{C}$ ; выдержка при данной температуре в течение 6 ч; охлажденные до  $720\text{--}730^{\circ}\text{C}$ ; выдержка 10 ч; охлаждение с печью до  $600^{\circ}\text{C}$ ; дальнейшее охлаждение на воздухе.

Затем из проб вырезают стандартные образцы сечением  $10\times 10\times 55$  без надреза для испытаний на ударный изгиб.

Ударные испытания проводят на ротационном копре с осциллографированием процесса разрушения, позволяющем с помощью диаграмм разрушения оценить

работу зарождения трещин и динамическую прочность исследуемых сплавов.

Охлаждение образцов до  $-60^{\circ}\text{C}$  осуществляют в специальном термостате с двойными стенками и теплоизоляцией. В качестве охлаждающей жидкости используют ацетон в смеси с жидким азотом. Температуру охлаждающей ванны контролируют пентаным термометром с ценой деления в  $1^{\circ}\text{C}$ .

По предлагаемой технологии выплавляют 5 составов предлагаемого сплава (на нижнем, среднем, верхнем, а также ниже нижнего и выше верхнего пределов содержания ингредиентов) и известный сплав.

Химические составы исследуемых чугунов приведены в табл. 1.

Показатели динамической прочности и работы зарождения трещин при температуре испытаний  $+20^{\circ}\text{C}$  и  $-60^{\circ}\text{C}$  представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, дополнительный ввод в состав чугуна никеля позволяет повысить динамическую прочность в 1,05-1,1 раза и увеличить работу зарождения трещин в 1,1-1,2 раза.

## Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Чугун, содержащий углерод, кремний, марганец, хром, медь, магний, кальций, алюминий, редкоземельные элементы, азот, ванадий и железо, отличающийся тем, что, с целью повышения в термообработанном состоянии динамической прочности и работы зарождения трещин в интервале  $20 - (-60)^{\circ}\text{C}$ , он дополнительно содержит никель при следующем соотношении компонентов, мас. %:

Углерод	3,2-3,6
Кремний	2,1-2,7
Марганец	0,2-0,6
Хром	0,02-0,1
Медь	0,005-0,1
Магний	0,03-0,06
Кальций	0,005-0,02
Алюминий	0,005-0,01
Редкоземельные элементы	0,01-0,03
Азот	0,005-0,01
Ванадий	0,01-0,06
Никель	0,01-0,10
Железо	Остальное

и примеси серы до 0,02% и фосфора до 0,01%.

Т а б л и ц а 1

Чугун	Уровень содержания ингредиентов	Химический состав, мас. %														
		C	Si	Mn	Cr	Cu	Mg	Ca	Al	P3M	N	V	Ti	Sb	Ni	Fe
Известный	Средний	3,4	1,9	0,65	0,5	0,08	0,045	0,14	0,15	0,05	0,07	0,15	0,22	0,20	-	Остальное
Предлагаемый	1 Нижний	3,2	2,1	0,2	0,02	0,005	0,03	0,005	0,005	0,01	0,005	0,01	-	-	0,01	То же
	2 Средний	3,4	2,4	0,4	0,06	0,05	0,045	0,01	0,0075	0,02	0,0075	0,035	-	-	0,05	"-
	3 Верхний	3,6	2,7	0,6	0,1	0,1	0,06	0,02	0,01	0,03	0,01	0,06	-	-	0,1	"-

Т а б л и ц а 2

Чугун	$\delta_{\text{дин}}$ , МПа, при температуре испытания, $^{\circ}\text{C}$		$K_3$ , КДж, при температуре испытания, $^{\circ}\text{C}$	
	+20	-60	+20	-60
Известный	1380	1520	1,4	1,25
Предлагаемый	1	1400	1,42	1,28
	2	1505	1,55	1,45
	3	1530	1,6	1,52